www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

11e JAARGANG No. 4, blz. 101-132 APRIL 1949

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: LABORATORIUM VOOR WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

OORZAKEN VAN POROSITEIT IN LASNADEN

door J. D. FAST.

621.791.056:620.192.34

Als men even stilstaat bij het zeer grote belang dat de methode van het electrisch booglassen in de techniek heeft verkregen, kan men er zich over verbazen op welk een smalle wetenschappelijke basis deze methode rust. Een symptoom hiervan zijn de vele nog onbegrepen verschijnselen en, soms, onaangename verrassingen die zich in de practijk van het lassen voordoen. Gebruik makend van theoretische inzichten uit de thermodynamica en de metaalkunde, tracht de schrijver enig licht te verspreiden over een der meest bekende oorzaken van teleurstellingen bij het leggen van lasverbindingen.

Bij het electrisch booglassen kunnen onder bepaalde omstandigheden lassen worden verkregen die poriën en gaten bevatten. Men kan wel als vaststaand aannemen dat deze porositeit moet samenhangen met tijdens het lassen in het metaal zich vormende gasbellen. Van een dieper inzicht in de verschijnselen die zich daarbij voordoen, is echter nog geen sprake. Het is tot nu toe bijv. volkomen onopgehelderd waarom bepaalde typen van laselectroden, wat porositeit betreft, bijzonder gevoelig zijn voor de aanwezigheid van betrekkelijk geringe hoeveelheden zwavel in het te lassen metaal. Wij wijzen in dit verband op onderzoekingen van J. ter Berg [1]), waaruit blijkt dat met laselectroden van het type Ph 50 reeds zeer poreuze lassen worden verkregen indien het zwavelgehalte van het grondmetaal 0,1% bedraagt, terwijl daarentegen met laselectroden van het type Ph 56 zelfs automatenstalen (welke ca 0,25% zwavel bevatten) zonder poreusheid kunnen worden gelast [2]).

We zullen in dit artikel trachten een mechanisme te schetsen waardoor porositeit in lasnaden kan ontstaan. De snelheid van de vorming van gasbellen, en eventuele belemmeringen die aan deze vorming in de weg staan, zullen daarbij een essentiële rol spelen. Op de verkregen inzichten wordt een poging gebaseerd om de geheimzinnige werking van zwavel en enkele andere tot dusverre onbegrepen verschijnselen te verklaren.

Vorming van holten in stollend metaal

De oplosbaarheid van de meeste gassen in metalen neemt met dalende temperatuur af, terwijl zij op het punt van het stollen zelfs een flinke sprong omlaag kan vertonen. Zie bijv. de krommen in *fig. 1*, die betrekking hebben op het oplossen van waterstof en stikstof in ijzer bij een druk van deze gassen van 1 atm.

Een metaal dat in gesmolten toestand gassen heeft opgenomen, zal dus bij afkoeling, en speciaal bij stolling, in het algemeen weer een gedeelte hiervan moeten afgeven. Het overtollige gas, dat in atomaire toestand in het metaal aanwezig is, kan dit op twee manieren verlaten: 1) De atomen kunnen door het vloeibare of door het inmiddels vast geworden metaal heen, naar het buitenoppervlak diffunderen en aldaar tot gasmoleculen recombineren. 2) Er kunnen zich gasbellen in het vloeibare metaal vormen; deze bellen groeien, doordat er atomen uit het omringende metaal heen diffunderen, en stijgen ten gevolge van de hydrostatische druk naar het oppervlak.

[1]) J. ter Berg, Philips techn. T. **7**, 91-93, 1942.

[2]) Voor een beschrijving van de samenstelling der verschillende typen laselectroden kan worden verwezen naar: J. D. Fast, Philips techn. T. **10**, 118-126, 1948 (No. 4). Zoals uit dat artikel blijkt, is de electrode Ph 56 wat de samenstelling betreft identiek met het oudere type Ph 55. Het enige verschil is, dat de bekledingsstoffen van de Ph 56 in twee onderling verschillende lagen om de kern zijn aangebracht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Van de snelheid waarmee de processen (1) en (2) plaats grijpen, en van de snelheid van het stollen zal het afhangen of er holten in het stollende metaal ontstaan. Een aantal experimenten moge dit toelichten.

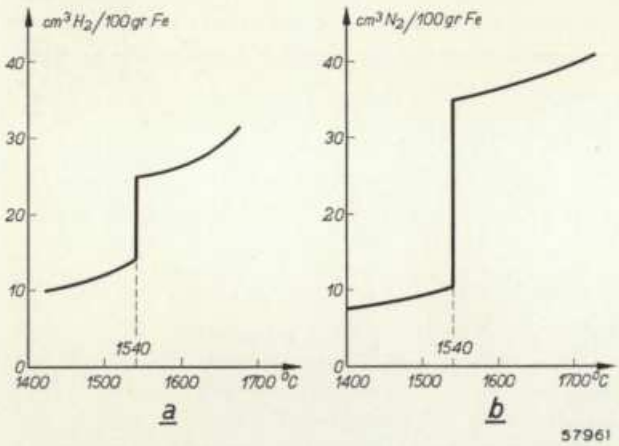


Fig. 1. Oplosbaarheid van waterstof (*a*) en stikstof (*b*) in ijzer, als functie van de temperatuur. Uitgezet zijn de hoeveelheden gas (uitgedrukt in volumina bij 1 atm en 0° C) die worden opgenomen in 100 gram ijzer dat zich in een omgeving van waterstof resp. stikstof van 1 atm bevindt.

Wij hebben porties ijzer van 100 gram in kroezen van vuurvaste oxyden gesmolten door hoogfrequentverhitting (*fig. 2*), waarbij de kroezen waren geplaatst in een atmosfeer van zorgvuldig gezuiverde waterstof resp. stikstof van 1 atm druk. Het gesmolten ijzer raakt verzadigd met gas en wordt vervolgens weer afgekoeld. Uit fig. 1 ziet men, dat bij het stollen van 100 gram ijzer, in evenwicht met waterstof van 1 atm, 11 cm³ H_2 (volume omgerekend op 0° C) uit de metallische oplossing moet ontwijken, dit is 72 cm³ H_2 bij de heersende temperatuur van 1540 °C. Voor stikstof is dit volume nog groter. Het volume van het, alleen reeds op het moment van het stollen vrijkomende gas is dus in onze proeven veel groter dan het volume van het ijzer zelf!

De proef werd ter contrôle herhaald in vacuum en in een atmosfeer van argon, dat zowel in vloeibaar als in vast ijzer geheel onoplosbaar is.

Vier klompjes ijzer, aldus verkregen door smelten en snel koelen, ziet men in *fig. 3a* en, doorgezaagd, in fig. 3*b*. Zoals kon worden verwacht, is zowel in het vacuum als in argon een geheel dicht blokje verkregen, zonder holten of poriën. In het in waterstof en stikstof gestolde metaal daarentegen constateert men grote holten. Het ontstaan hiervan kon tijdens de proeven door de glazen wand heen worden waargenomen. Daar de afkoeling van het gesmolten ijzer in onze opstelling plaats grijpt door straling en convectie, stolt het ijzer het eerst aan het vrije oppervlak. Wegens de sprong in de oplosbaarheid bij het stolpunt, zal het gestolde ijzer slechts weinig gas in oplossing houden, waardoor het ondergelegen vloeibare ijzer tijdelijk sterk oververzadigd met gas raakt. Er treedt hierin dientengevolge een sterke ontwikkeling van gasbellen op, en men ziet dan ook hoe de gevormde vaste wand op een gegeven ogenblik plaatselijk omhoog wordt gestuwd. Bij sommige van de, meermalen herhaalde, experimenten brak de vloeistof vervolgens door de wand van de gevormde berg heen en vloeide onder „kook"-verschijnselen over het gestolde oppervlak. Er kunnen dus ten slotte zowel holten onder het oppervlak als ook gaten in het oppervlak achterblijven.

Het kan bij zo'n „uitbarsting" voorkomen dat de eerst gevormde berg weer wegsmelt; zie het blokje in *fig. 4a* en *b*. Bij enkele experimenten herhaalde het verschijnsel van bergvorming en instorting zich zelfs verscheidene malen. Men constateert bij de beschreven proeven een treffende overeenkomst, op zeer kleine schaal, met vulcanische uitbarstingen, waarbij een met gas oververzadigde vloeibare lava door een vaste wand heenbreekt en naar buiten stroomt.

In een volgende reeks proeven werd het gesmolten ijzer langzamer gekoeld, door de kroes enigszins geïsoleerd op te stellen (nl. door plaatsing in een

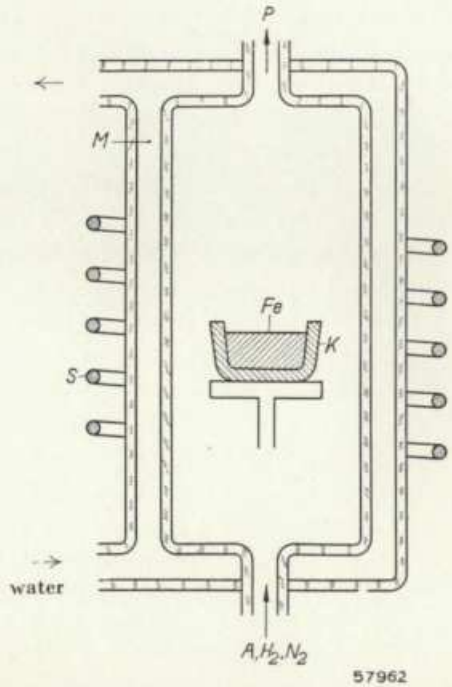


Fig. 2. Schema van de opstelling voor het smelten en stollen van kleine hoeveelheden ijzer in een atmosfeer van bepaalde zuivere gassen. Het ijzer (*Fe*) bevindt zich in een kroes *K* van aluminiumoxyde, geplaatst in een glazen vat met dubbele wand *M*. Door middel van de spoel *S* kan het ijzer hoogfrequent worden verhit; de afkoeling kan men snel doen plaats hebben door de mantel *M* met stromend water te koelen. De gassen worden onderaan toegevoerd en bij *P* afgepompt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

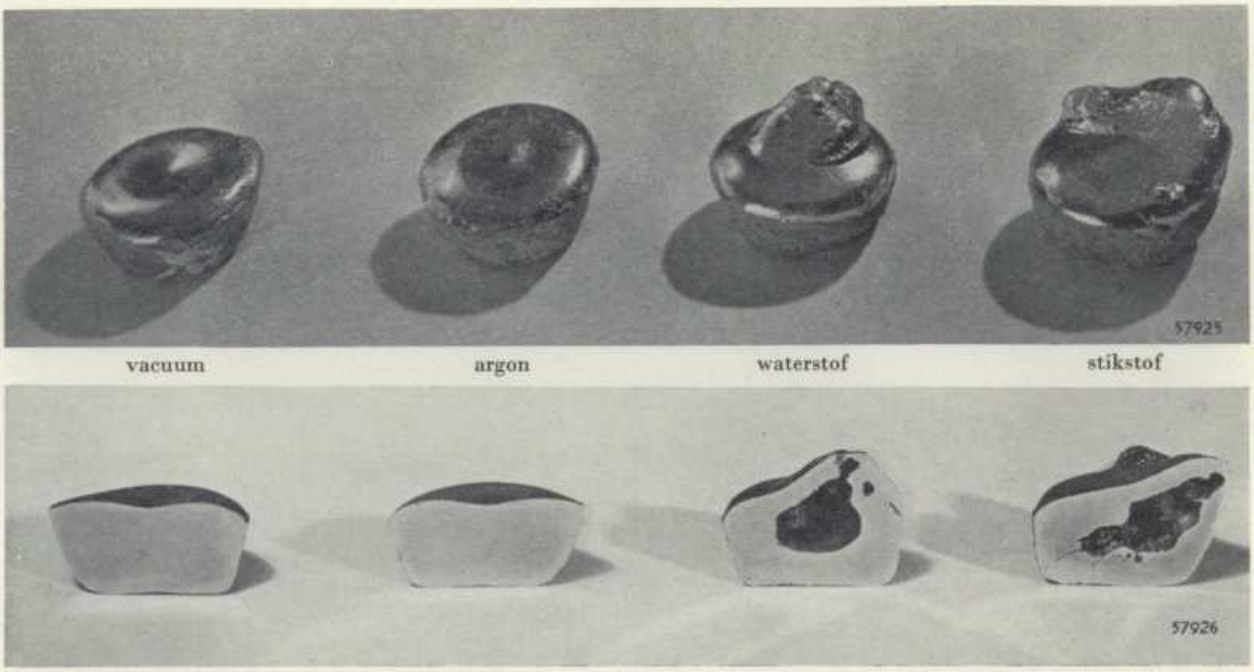
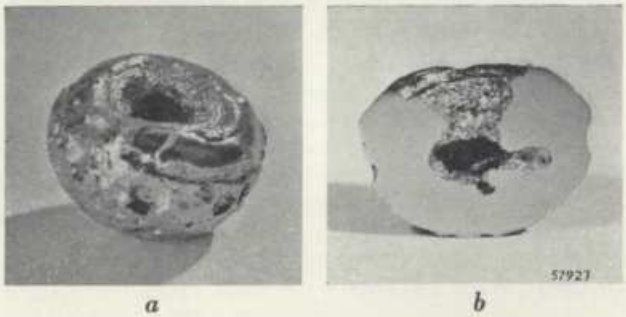


Fig. 3. *a*) Vier blokjes ijzer, gesmolten en snel gekoeld in vacuum, resp. in argon, waterstof en stikstof. *b*) Dezelfde blokjes, doorgezaagd. De blokjes verkregen door smelten in vacuum en in argon zijn geheel dicht, die verkregen in waterstof en stikstof tonen de sporen van een hevige gasontwikkeling bij het stollen.

tweede kroes en opvulling van de tussenruimte met aluminiumoxyde-gruis). Zoals door *fig. 5a* en *b* wordt gedemonstreerd, bevat het aldus in waterstof gestolde blokje slechts betrekkelijk weinig poriën, terwijl zich in stikstof nog dezelfde verschijnselen voordoen als bij snel stollen. De verklaring hiervan



a *b*

Fig. 4. Een in waterstof gesmolten en gestold blokje ijzer, analoog aan het in fig. 3 vertoonde, dat zich bij het stollen als een miniatuur-vulkaan gedroeg en de vorming van een heuse „krater" en „lavastroom" te zien gaf.

is, dat bij het langzamer stollen het bovengenoemde proces (1): diffunderen van de opgeloste atomen door het vloeibare en vaste metaal met daaropvolgende recombinatie aan het oppervlak, een betere kans krijgt om mee te helpen bij het afvoeren van het overtollige gas. Bij waterstof verloopt dit proces betrekkelijk snel [3]), zodat dit gas nu zonder veel bellenvorming uit de oververzadigde oplossing kan ontwijken. Bij stikstof is de diffusie veel trager, bovendien is blijkens fig. 1 de ontstane oververzadiging veel groter, zodat door het langzamer stollen de situatie niet noemenswaard wordt verbeterd.

De beschreven proeven geven een kijk op enkele factoren die bij de poriënvorming bij het lassen zullen meespelen. Toch is de situatie bij het lassen in allerlei opzichten anders en ingewikkelder. Op één verschil moeten we in deze paragraaf reeds ingaan: bij het lassen stolt het neergesmolten ijzer niet van buiten af, doch van binnen uit, dwz. beginnend bij het grensvlak tussen het werkstuk en de hierop gevormde ondiepe poel van lasmetaal.

Is hierbij de ontwikkeling van gasbellen nog aan de gang terwijl de buitenste (aan de er op drijvende slak grenzende) laag van het metaal aan de beurt is om te stollen, dan is het wel begrijpelijk dat het uiteindelijke oppervlak ook in dit geval gaten, of in een minder ernstig geval, kleine indeukingen zal vertonen. Maar ook als er in dat stadium geen gasbellen meer worden gevormd en het gestolde oppervlak derhalve geen gebreken vertoont, kunnen er wel degelijk inwendige holten aanwezig zijn. Om dit te begrijpen moeten wij het proces zelf van de vorming der gasbellen nader in ogenschouw nemen.

Deze vorming heeft plaats aan de grens van het vaste en het vloeibare metaal, zoals we hieronder

[3]) Zie bijv. J. D. Fast, Experimenten over de doorlating van gassen door metalen wanden, Philips techn. T. 7, 74-82, 1942.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

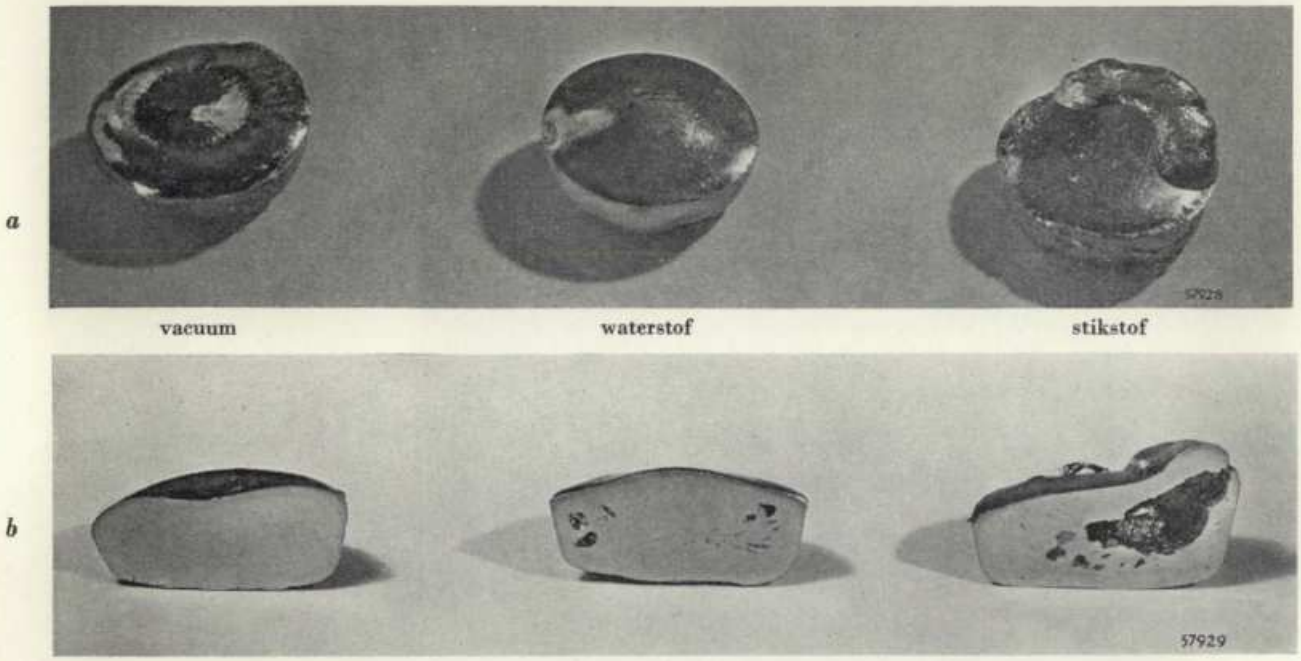


Fig. 5. Drie blokjes ijzer, gesmolten en gestold in vacuum resp. waterstof en stikstof. Het stollen geschiedde hier veel langzamer dan bij de blokjes in fig. 3. Bij het in waterstof gesmolten blokje kon daardoor het opgeloste gas goeddeels door diffusie ontwijken; stikstof echter diffundeert te langzaam om een verschil ten opzichte van de snelle stolling op te leveren.

nog zullen zien. Zolang de bellen klein zijn, blijven zij aan dit grensvlak kleven; eerst na het overschrijden van een bepaalde grootte kunnen zij zich van de vaste wand losmaken en opstijgen. Het kan nu gebeuren dat de bellen langzamer of niet veel sneller aangroeien dan het grensvlak vast-vloeibaar zich bij de voortschrijdende stolling verplaatst. De bellen blijven dan in de vorm van langgerekte gasinsluitsels, met de lengterichting ongeveer loodrecht op het stollende oppervlak, in het metaal steken. Door *fig. 6* wordt dit geïllustreerd.

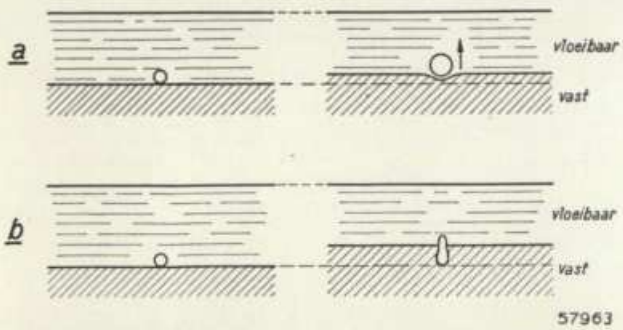


Fig. 6. Bij het lassen bevindt zich een poel van gesmolten metaal op het vast gebleven grondmetaal. Tijdens het stollen verplaatst zich het grensvlak tussen vast en vloeibaar metaal geleidelijk naar het oppervlak. Gasbellen ontstaan bij voorkeur op het grensvlak. Groeien zij snel genoeg, dan maken zij zich tijdig los en ontsnappen naar het oppervlak (*a*). Groeien zij te langzaam, dan kunnen zij door het voortschrijdende vaste metaal worden omsloten en geven dan aanleiding tot het ontstaan van inwendige holten (*b*). Dit kan nog in de hand worden gewerkt doordat de grens tussen vast en vloeibaar zich niet als een glad vlak verplaatst, zoals in de figuur eenvoudigheidshalve werd getekend, doch min of meer onregelmatig voortschrijdt door de kris-kras en met vele vertakkingen groeiende kristallen (dendrieten).

Proeven waarbij dit verschijnsel optrad, ten gevolge van een verminderd zuurstofgehalte van het lasmetaal door toevoeging van Al, Ti of Zr, hebben wij in het aangehaalde artikel [3]) beschreven.

Als een bijzonder geval van de wedloop tussen een groeiende gasbel en het voortschrijdende grensvlak kan zich het verschijnsel voordoen dat het onderste gedeelte der bel blijft steken, terwijl bovenaan, waar de bel reeds belangrijk in omvang is toegenomen, zich op een gegeven ogenblik een gedeelte losrukt. Het aanstromende vloeibare metaal veroorzaakt hier een vernauwing van de, inmiddels weer verder groeiende, gasholte. Dit spel kan zich enkele malen herhalen, waardoor holten met periodieke vernauwingen en verwijdingen ontstaan, die zowel in lassen als in stalen gietstukken een bijzonder slechte reputatie genieten [4]).

Deze beschouwingen leiden tot de min of meer verrassende gevolgtrekking dat porositeit in lasnaden niet alleen te wijten kan zijn aan een abnormaal sterke gasontwikkeling, maar eventueel, bij normale of zelfs ondermaatse gashoeveelheden in het metaal, ook aan een belemmering van de gasontwikkeling. Zulk een belemmering kan enerzijds oorzaak zijn dat de gasontwikkeling te lang wordt uitgesteld, zodat deze nog niet beëindigd is als de buitenste metaallaag stolt, anderzijds kan zij het groeien van de gasbellen vertragen,

[4]) Vgl. ook A. Hultgren en G. Phragmen, Trans. A.I. M.E. **135**, 133-244, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zodat deze in het stollende metaal blijven steken.

In het verdere betoog van dit artikel zal nu eerst worden ingegaan op de voorwaarden waaronder een gasontwikkeling in het neergesmolten metaal bij het lassen kan optreden, en daarna op de situaties waarbij zich een belemmering van de gasontwikkeling als boven bedoeld kan voordoen.

Voorwaarden voor gasontwikkeling in het vloeibare lasmetaal

Evenals in de boven beschreven smeltproeven heeft bij het lassen het gesmolten metaal de neiging zich met gas uit de omringende atmosfeer te verzadigen, dus bij het lassen in lucht, met zuurstof en stikstof. Ook afgezien van een mogelijk daardoor veroorzaakte porositeit is dit ongewenst, daar het de mechanische eigenschappen van de las bederft [5]). Men beschermt daarom het gesmolten metaal zo goed mogelijk tegen de inwerking van de lucht, door middel van de bekleding der laselectroden, welke een tegen de lucht afsluitende laag slak op het gesmolten lasmetaal (en ook reeds rondom de overgaande metaaldruppels) vormt. Anderzijds echter heeft de bekleding tevens tot taak een krachtige gasstroom te ontwikkelen, om een vlotte druppelovergang en een goede inbranding te geven. Voor dit doel bevat de bekleding chemisch gebonden gassen, die tijdens het lassen vrijkomen: gebonden water H_2O en koolzuur CO_2 bij electroden van het type Ph 50, bijna uitsluitend gebonden CO_2 bij het type Ph 56. Door reactie met reducerende metaalpoeders in de bekleding ontwikkelt de Ph 50 een mengsel van CO_2, H_2O, CO en H_2, de Ph 56 een mengsel van CO_2 en CO. In het geval van de Ph 56 hebben de aldus ontwikkelde gassen weinig invloed op het neergesmolten metaal: bij de altijd reeds van te voren aanwezige ongeveer 0,08 à 0,10 gew. % koolstof komt hierdoor een geringe hoeveelheid zuurstof, nl. 0,03%. Bij de Ph 50 is de situatie aanmerkelijk ongunstiger: van de ontwikkelde gassen wordt veel waterstof in het vloeibare metaal opgenomen (meer dan 0,0014 gewichtsprocent), en doordat dit type van electrode o.a. ijzeroxyde in de bekleding bevat, komt er ook meer zuurstof in het neergesmolten materiaal (meer dan 0,1%). Verder is het stikstofgehalte bij lassen met electroden Ph 50 niet te verwaarlozen, het bedraagt ongeveer 0,03%.

In geval van lassen met de Ph 50 krijgt men dus vloeibaar ijzer dat, naast elkaar, opgeloste koolstof, zuurstof, waterstof en stikstof bevat. Een dergelijke oplossing is alleen dan stabiel, indien zich boven het vloeibare metaal een gasatmosfeer bevindt, bestaande o.a. uit CO_2, H_2O, CO, H_2 en N_2, met bepaalde partiële drukken. De voor stabiliteit vereiste waarden van deze partiële drukken hangen zowel van de temperatuur af als van de opgeloste hoeveelheden C, O, H en N. Zijn deze evenwichtsdrukken (die we zullen aanduiden als de „latente" partiële drukken der gassen in het metaal) groter dan de werkelijk aanwezige partiële drukken in de gasphase, dan komt er gas uit het metaal vrij. We hebben reeds gezien dat dit kan geschieden hetzij door diffusie der gasatomen naar het oppervlak van het metaal en vorming van gasmoleculen aan dit oppervlak, hetzij door vorming van gasbellen in de vloeistof. Voor dit laatste geval — dat ons hier het meest interesseert — moet echter nog aan een tweede voorwaarde zijn voldaan: in de vloeistof is een gasbel alleen bestaanbaar indien zijn inwendige druk (die nooit groter kan zijn dan de totale „latente druk" der opgeloste gassen) groter is dan de totale druk van de gasatmosfeer boven het metaal. Zouden we bijv. een extra druk van argon van 1000 atmosfeer boven het metaal aanbrengen, dan zouden zich alleen gasbellen kunnen vormen met een druk groter dan 1000 atm, met andere woorden, het ontwijken van gassen via bellen zou dan zo goed als onmogelijk zijn gemaakt, hoewel er aan de ligging van het evenwicht tussen de oplossing en de gasphase niets was veranderd. Het evenwicht zou zich nu nog slechts via het langzame proces van diffusie en recombinatie kunnen instellen.

Bij het lassen in de lucht bedraagt de totale druk boven het metaal 1 atm. Het ligt voor de hand te vragen hoe groot de voor bellenvorming beschikbare druk, d.i. de totale latente druk der opgeloste elementen in het vloeibare metaal van de las is.

Latente druk der opgeloste gassen in het lasmetaal

De concentraties van C, O, H en N in het ijzer na het lassen met de electroden Ph 50 resp. Ph 56 hebben wij hierboven reeds globaal aangegeven. Bij deze betrekkelijk geringe concentraties geldt met voldoende benadering dat de opgeloste elementen elkaar, wat de besproken latente drukken betreft, niet beïnvloeden. In dat geval kunnen deze drukken voor een temperatuur vlak boven het smeltpunt van het ijzer (1813 °K), uit de concentraties worden berekend met behulp van de formules [6]):

[5]) Zie bijv. P. C. van der Willigen, De mechanische eigenschappen van gelaste verbindingen, Philips techn. T. 6, 97-104, 1941.

[6]) Deze formules worden afgeleid in een artikel van schrijver dezes in Philips Research Reports, dat binnenkort zal verschijnen. Strikt genomen, moeten ook zuurstof O_2, methaan CH_4 en vele andere reactieproducten in de gasphase worden meegerekend, doch hun evenwichtsdrukken zijn alle zo gering dat men de aanwezigheid dezer producten kan verwaarlozen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

$$P_{CO}^{1813} = 500\,[\%\,O]\,[\%\,C]\ \text{atm},$$
$$P_{CO_2}^{1813} = 580\,[\%\,O]^2\,[\%\,C]\ \text{atm},$$
$$P_{H_2}^{1813} = 1{,}92 \cdot 10^5\,[\%\,H]^2\ \text{atm},$$
$$P_{H_2O}^{1813} = 8{,}8 \cdot 10^5\,[\%\,O]\,[\%\,H]^2\ \text{atm},$$
$$P_{N_2}^{1813} = 520\,[\%\,N]^2\ \text{atm}.$$

Voor de concentraties in het gestolde lasmetaal van de Ph 50 willen wij de volgende experimenteel gevonden waarden aannemen: 0,06% C; 0,12% O; 0,03% N; 0,0014% H. De hieruit berekende latente partiële drukken zijn vermeld in *tabel I*, kolom 2; kolom 4 geeft de latente drukken die op analoge wijze berekend zijn uit de experimenteel gevonden concentraties van C, O en N in het lasmetaal van de Ph 56.

Voor wat betreft de gassen waarvan zuurstof een bestanddeel is, moeten de aangegeven drukken als een bovenste grens worden beschouwd. In het lasmetaal zijn nl. o.a. ook silicium en mangaan aanwezig, die een grote affiniteit tot de in het metaal opgeloste zuurstof hebben. De invloed hiervan op de latente (voor bellenvorming beschikbare) gasdrukken, hangt behalve van de concentraties Si, Mn enz. in het metaal ook nog af van de samenstelling en de hoeveelheid van de slak, die deze elementen eveneens bevat. Aangezien zich tijdens het lassen geen evenwicht tussen metaal en slak instelt, is de genoemde invloed moeilijk kwantitatief in rekening te brengen. We zullen echter zeker een onderste grens voor de latente drukken krijgen, indien we alléén rekening houden met dat percentage zuurstof dat bij chemische analyse van het lasmetaal in de vorm van FeO gevonden wordt. Volgens onderzoekingen van Andrews en van Sloman, Rooney en Schofield[7]) is dit 0,043% O (0,192% FeO) in het geval van electroden van het type Ph 50, en slechts 0,001% O bij het type Ph 56. De hiermee berekende waarden van de latente drukken van CO, CO_2 en H_2O zijn in de tabel in kolom 3 resp. 5 vermeld.

Tabel I. Latente partiële drukken der gassen die uit de opgeloste elementen in het lasmetaal van de electrode Ph 50 resp. Ph 56 kunnen worden gevormd.

gas	Ph 50 0,06% C; 0,03% N; 0,0014% H		Ph 56 0,08% C; 0,01% N; 0% H	
	bovenste grens (0,12% O) atm	onderste grens (0,043% O) atm	bovenste grens (0,03% O) atm	onderste grens (0,001% O) atm
1	2	3	4	5
CO	3,60	1,29	1,20	0,04
CO_2	0,50	0,06	0,04	0,00
H_2	0,38	0,38	—	—
H_2O	0,21	0,07	—	—
N_2	0,47	0,47	0,05	0,05
totale latente druk	5,16	2,27	1,29	0,09

Tellen we nu in de tabel de drukken voor de verschillende gassen op, dan krijgen we bij het type Ph 56 een totale latente druk die zeker niet noemenswaard meer dan 1 atm bedraagt. Bij het type Ph 50 echter vinden wij een latente, voor bellenvorming op het moment van stollen beschikbare druk die tussen ongeveer 2 en 5 atm zal liggen, dus in ieder geval aanmerkelijk groter is dan 1 atm.

Hieruit zou men concluderen, dat er bij lassen met de Ph 50 op het ogenblik van het stollen een hevige gasontwikkeling aan de gang is. Terwijl wij dit artikel begonnen met het probleem te stellen, hoe men kan verklaren dat er soms porositeit bij lassen optreedt, zien we ons nu veeleer gesteld voor de vraag, hoe het dan toch mogelijk is dat met de electrode Ph 50 onder normale omstandigheden géén porositeit optreedt — een feit dat uit de ervaring genoegzaam bekend is.

Vorming van gaskiemen

De verklaring van dit feit is vrij eenvoudig. Wij hebben hierboven een noodzakelijke voorwaarde vermeld voor de vorming van gasbellen, nl. dat de druk in de bel groter moet zijn dan de totale gasdruk (p) boven de vloeistof. Doch deze voorwaarde is niet voldoende. Wij hebben nog geheel buiten beschouwing gelaten dat de vorming van een gasbel een verbreking van de cohaesie in het vloeibare metaal betekent. De vorming van het nieuwe oppervlak correspondeert met een extra „capillaire druk", die gegeven wordt door $2\sigma/r$, indien σ de oppervlaktespanning van het vloeibare metaal en r de straal van de gasbel is. De totale druk in het inwendige van een gasbel moet dientengevolge een waarde

$$P = p + \frac{2\sigma}{r} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

overschrijden vóór de bel kan groeien. (Hierbij moet eigenlijk nog de hydrostatische druk van de vloeistofkolom boven de gasbel worden opgeteld, doch deze druk kunnen we in de ondiepe poel van het lasmetaal verwaarlozen.)

Een groeiend belletje moet noodzakelijkerwijze

[7]) W. Andrews, Trans. Inst. Welding, **8**, 119-132, 1945. H. A. Sloman, T. E. Rooney en T. H. Schofield, J. Iron Steel Inst. **152**, 127P-153P, 1945.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een beginstadium doorlopen waarin het zeer klein is. In dit stadium is dus volgens (1) de vereiste druk in de bel zeer groot. Dit levert alvast in principe de verklaring waarom in het lasmetaal van de Ph 50 bij een latente druk van meer dan 2 atm toch geen bellen worden gevormd.

Welke druk dan wèl voldoende zou zijn, kan niet voetstoots uit formule (1) worden afgeleid. Het is immers niet mogelijk deze formule tot aan atomaire dimensies toe te passen, aangezien het begrip oppervlaktespanning een typisch macroscopisch begrip is, dat zijn betekenis in het gebied der atomaire dimensies verliest. De vorming van de kiem van een gasbel, die slechts uit betrekkelijk weinig moleculen bestaat, moet als een statistisch probleem worden behandeld. De vereiste latente druk kan men niet aangeven, al kan men wel iets zeggen over de factoren die in het statistische probleem een rol spelen.

Men kan zich voorstellen, dat zich bij gunstige ontmoetingen van de in het metaal diffunderende atomen zo af en toe gasmoleculen (CO, H_2 enz.) in het vloeibare metaal vormen. De levensduur van deze moleculen zal zeer klein zijn: na een korte tijd dissociëren ze weer in atomen. Voor de vorming van een zeer kleine gasbel zal het nodig zijn dat een molecuul tijdens zijn korte levensduur een aantal andere gasmoleculen (die eveneens een zeer geringe levensduur hebben) in de vloeistof ontmoet. De kans op een dergelijke snelle opeenvolging van gunstige ontmoetingen zal toenemen met de concentraties der atomen en verder evenredig zijn met de beschikbare tijd. Of zich al dan niet gasbellen zullen vormen, hangt dus ook van de snelheid van stolling af.

Ten einde toch een uitspraak omtrent de voor bellenvorming vereiste latente druk te kunnen doen, willen wij de wellicht niet ongerechtvaardigde onderstelling maken, dat wij formule (1) reeds mogen toepassen op een bel met een straal van 10^{-5} cm. Volgens de beschikbare gegevens zijn de oppervlaktespanningen van vloeibare metalen van de orde van grootte van 0,5 newton/m (500 dyne/cm). Het belletje kan dan volgens verg. (1) slechts groeien indien zijn inwendige druk van de orde van 10^7 newton/m^2 $\approx$ 100 atm is. Deze waarde van 100 atm moet, gezien de wijze van berekenen, als een onderste grens voor de vereiste latente druk worden beschouwd. Misschien moet deze nog een factor 10 of 100 hoger worden gesteld.

De vorming van gasbellen midden in het vloeibare metaal is dus vrijwel uitgesloten.

Deze moeilijkheid van de vorming van gaskiemen geeft aanleiding tot het optreden van vele verschijnselen die bij vloeibare metalen nog nauwelijks onderzocht, doch bij water en waterige oplossingen maar al te bekend zijn. Wij wijzen in dit verband bijv. op de volgende experimentele ervaringen. Zuiver water, waaruit alle van te voren aanwezige „gaskiemen" (zeer kleine gasbellen) door speciale behandelingen zijn verwijderd, kan in een glazen vat met zeer zuivere wanden tot boven 200 °C worden verhit zonder te koken. Een temperatuur van 200 °C correspondeert met een waterdampdruk van 15 atm, hetgeen dus nog niet voldoende is om de cohaesie van de vloeistof te verbreken. Onder dezelfde voorzorgsmaatregelen kan water in een glazen vat onder een zuiger een trekspanning van zelfs meer dan 50 atm verdragen voordat een breuk in de vloeistof optreedt. Voorts kan water in zeer zuivere glazen vaten sterk oververzadigd zijn met CO_2 zonder dat zich koolzuurbelletjes vormen.

Bij al deze verschijnselen is de glazen, zeer zuivere wand essentieel. Bevindt het water zich in een vat waarvan de wanden een kleinere adhaesiekracht op water uitoefenen dan glas, dan treden de verschijnselen in veel mindere mate op, doordat de samenhang tussen vloeistof en wand betrekkelijk gemakkelijk kan worden verbroken. In een vat, gemaakt van een vaste koolwaterstof bijv., is het niet mogelijk een grote oververzadiging aan CO_2 in het water te handhaven. De bellen vormen zich op de „zwakste" plaats van het systeem, d.i. aan de wand. Analoog zal in vloeibaar ijzer, als er een bellenvorming van opgelost gas optreedt, deze in het algemeen aan het grensvlak vloeistof-vaste stof optreden. Op fraaie wijze is dit aangetoond door experimenten van Oelsen [8]), waarbij vloeibaar ijzer aan alle kanten was omringd door vloeibare slak. In dit geval traden zelfs bij een C-gehalte van 2% en een O-gehalte van 0,035% geen kookverschijnselen op, dwz. er vormden zich geen CO-bellen. De genoemde gehalten corresponderen bij 1813 °K met een latente druk van CO van ca 13 atm [9])! Werd een ijzeren staaf in de met C en O sterk oververzadigde smelt gedompeld, dan trad een heftige gasontwikkeling op, die weer onmiddellijk tot stilstand kwam bij het verwijderen van de staaf.

Voor het geval van het lassen zullen we er dus rekening mee moeten houden dat de vereiste latente druk voor de bellenvorming aan het voortschrijdende grensvlak vloeistof-vaste stof aanzienlijk verminderd kan zijn; dit geldt vooral voor scherpe hoeken en kanten van in dit grensvlak gelegen, bij het stollen groeiende kristallen, en voor eventueel aanwezige verontreinigingen.

[8]) W. Oelsen, Stahl Eisen **56**, 182-188, 1936.

[9]) De hierboven voor de CO-druk gegeven formule zou een druk van 35 atm opleveren. Bij een C-gehalte van 2% mag die formule echter niet meer worden toegepast, aangezien er dan reeds een sterke wisselwerking tussen C en O in de smelt bestaat. Deze wisselwerking heeft een verlaging van de CO-evenwichtsdruk tengevolge, welke volgens experimenten van S. Marshall en J. Chipman (Trans. Amer. Soc. Metals **30**, 695-746, 1942) bij 2% C wordt gegeven door $p_{CO}^{1813} = 190\ [\%O]\,[\%C]$.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Samenvattende beschouwing van het normale lassen met electroden van type Ph 50

Hierboven werd aangetoond dat, in geval van lassen met electroden van het type Ph 50, de opgeloste gassen bij het stollen van het lasmetaal een latente druk van meer dan 2 atm bezitten. Het ervaringsfeit dat desondanks onder normale omstandigheden poriënvrije lassen met deze electroden worden verkregen, kon worden begrepen doordat voor het ontstaan van gasbellen een extra druk nodig is, die in het beschouwde geval het verschil tussen latente en atmosferische druk te boven gaat, ondanks de vermindering van de vereiste latente druk die in het grensvlak vloeibaar metaal-vast metaal optreedt.

Dit geldt echter alleen voor het einde der stolling, dwz. voor het ogenblik waarop de buitenste laag lasmetaal stolt. Het is vrijwel zeker dat in het eerste stadium van de stolling wel degelijk een bellenvorming optreedt. Dit blijkt bijv. reeds uit het feit dat het koolstofgehalte van het lasmetaal, dat vóór het lassen 0,08 à 0,10% bedraagt, nà het lassen tot 0,06% is gedaald. Het verschil in koolstof moet (voorzover deze niet reeds tijdens het afsmelten van de electrode is verbrand) in de vorm van gasvormig CO en CO_2 uit de poel ontweken zijn. Bovendien is de aanvankelijke bellenvorming om verschillende andere redenen plausibel. Ten eerste moeten we bedenken dat de oplosbaarheden van C, O, H en N in het vaste metaal veel kleiner zijn dan in het vloeibare (vgl. fig. 1), waardoor de groeiende kristallen voortdurend C, O, H en N voor zich uitdrijven. In het laagje vloeistof dat onmiddellijk aan het reeds gestolde metaal grenst, zal de concentratie aan C, O, H en N dientengevolge niet alleen groter zijn dan met de totale samenstelling correspondeert, maar zelfs groter dan met de samenstelling van de vloeistof buiten dit laagje correspondeert. Ten tweede mag worden aangenomen dat de gehalten niet alleen aan C, maar ook aan O, N en H in het vloeibare metaal — die helaas niet bekend zijn — groter zijn dan de gehalten die nà het lassen in het vaste metaal worden gevonden en die wij hierboven hebben vermeld. Voor de waterstof wordt dit duidelijk uit metingen van Mallett en Rieppel [10]). Zij vonden in de gassen in de onmiddellijke omgeving van de lasboog, bij een laselectrode die met type Ph 50 overeenkomt, 42 vol% waterstof. Met de partiële druk van 0,42 atm H_2 correspondeert een opgeloste hoeveelheid van 16 cm³ per 100 gram ijzer. Doordat echter de boog grote hoeveelheden atomaire waterstof produceert, zal in het vloeibare ijzer zeker aanzienlijk meer dan 16 cm³ H_2 per 100 gram worden opgenomen. Direct nà het lassen nu vonden Mallett en Rieppel niet meer dan 15,5 cm³ H_2 per 100 gram in het gestolde metaal. Het surplus moet het metaal (althans voor het grootste gedeelte) in de vorm van gasbellen tijdens het stollen hebben verlaten.

Als we nu teruggrijpen naar de voorstelling van de poriënvorming door gasbellen die in het begin van dit artikel werd gegeven, kunnen we de situatie bij het lassen met electroden Ph 50 aldus beschrijven: Er is tijdens het stollen wel een ontwikkeling van gasbellen, doch deze ontwikkeling is onder normale omstandigheden beëindigd en de gasbellen zijn ontweken vóór het buitenste gedeelte van het lasmetaal stolt. De concentraties van de opgeloste gassen zijn nl. tegen dat tijdstip zover gedaald dat de latente druk niet meer de vereiste waarde voor vorming van gasbellen bereikt.

De invloed van zwavel

Als een „abnormale omstandigheid", waaronder lassen met electroden van het type Ph 50 wèl poriën vertonen, hebben we in het begin de aanwezigheid van een betrekkelijk geringe hoeveelheid zwavel in het te lassen ijzer genoemd. Is thans de poriënvorming in dit geval te begrijpen?

Zwavel is in vast ijzer vrijwel onoplosbaar, zodat de in het zwavelhoudende vloeibare lasmetaal groeiende kristallen voortdurend zwavel voor zich uit stoten. Met andere woorden, er zal in de laag vloeistof die onmiddellijk aan het vaste metaal grenst, tijdens het stollen niet alleen een abnormaal hoge concentratie aan C, O, H en N, maar ook aan zwavel bestaan. In het beeld dat we ons hierboven van de gasontwikkeling hebben gevormd, ontstaan de gaskiemen aan de, zich verplaatsende, vaste wand. De bellen groeien waarschijnlijk uit een laagje dat geadsorbeerd is aan de wand, en wel voornamelijk aan de scherpe hoeken en kanten der groeiende kristallen. We moeten ons nu voorstellen dat deze gunstige („actieve") plaatsen voor de vorming van gaskiemen worden geblokkeerd door de zwavel, doordat dit element aldaar preferent wordt geadsorbeerd. Deze „vergiftiging" van het grensvlak is oorzaak dat de gasontwikkeling wordt uitgesteld: de bellen vormen zich pas in een later stadium van het stollen, nl. wanneer de oververzadiging in de nog niet gestolde vloeistof zo groot is geworden dat ook de verhoging van de vereiste latente druk door het niet ten volle meewerken van de vergiftigde wand de bellenvorming niet

[10]) M. W. Mallett, Welding J. **25**, 396S-399S, 1946; M. W. Mallett en P. J. Rieppel, Welding J. **25**, 748S-759S, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

meer kan beletten. Dit kan aldus leiden tot bellenvorming in het laatste stadium van het stollen, dwz. tot porositeit. Zo kunnen wij de „gevoeligheid" van de Ph 50 voor zwavel begrijpen.

Bij de electroden van het type Ph 56 is de situatie gunstiger doordat blijkens tabel I de latente druk der opgeloste gassen veel kleiner is. De oververzadiging in het vloeibare metaal blijft zo gering dat waarschijnlijk in het geheel geen bellenvorming optreedt (aan het einde noch aan het begin van het stollen), zodat dus ook geen invloed van de aanwezigheid van zwavel is te verwachten.

De gegeven verklaring van de gevoeligheid van electroden van het type Ph 50 voor zwavel vindt steun in een reeks ervaringen en experimenten. Wij willen er enkele van noemen.

evenwicht niet kan veranderen, zal de vergiftiging zowel de ontleding als de vorming van CO vertragen.

Dit verschijnsel komt men eveneens bij de staalbereiding tegen. Men voegt hier vaak silicium of aluminium aan het vloeibare staal toe om het staal te „kalmeren": de aanwezige zuurstof wordt chemisch gebonden, dientengevolge wordt de ontwikkeling van CO voorkomen en het staal stolt zonder gasontwikkeling. Nu is het bekend dat ook zwavel kalmerend werkt: een hoeveelheid van 0,1% S is voldoende om de ontwikkeling van CO tijdens het stollen vrijwel geheel te onderdrukken [12]). De analogie met de invloed van zwavel bij het lassen is wel zeer sprekend.

Over allerlei andere, ten dele al lang bekende

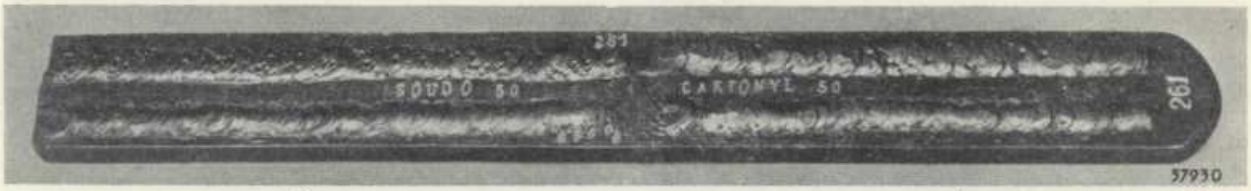


Fig. 7. Lasrupsen gelegd op een koolstofvrije ijzeren plaat met 0,25% zwavel, *a*) met een normale electrode Ph 50; *b*) met een electrode Ph 50 waarvan de kerndraad geen koolstof bevatte; *c*) met een electrode Ph 50 uit welker bekleding de waterstof was uitgedreven; *d*) met een electrode Ph 50 waarin de voorwaarden (*b*) en (*c*) waren gecombineerd.

De adsorptie aan „actieve" plaatsen van een metaaloppervlak treft men ook aan in het verschijnsel der heterogene katalyse. De werking van zwavel bij het lassen wordt nu dadelijk minder vreemd als men zich herinnert dat zwavel een bekend katalysatorgift is. Reeds in de eerste helft van de vorige eeuw was bekend dat de katalytische werking van fijn verdeeld platina op de reactie tussen zuurstof en waterstof door geringe hoeveelheden van zwavelverbindingen wordt opgeheven. Een meer recent voorbeeld is de dissociatie van gasvormig molybdeencarbonyl $Mo(CO)_6$ aan hete oppervlakken [11]). De verkregen molybdeenlagen bevatten in het algemeen koolstof, doordat een gedeelte van het vrijkomende CO ontleedt. Het neerslaan van C kan echter grotendeels worden voorkomen door toevoegen van een weinig H_2S aan het carbonyl. Waarschijnlijk moet worden gedacht aan een vergiftiging door zwaveladsorptie van de actieve plaatsen van het oppervlak waaraan in normale gevallen de ontleding van CO tot stand komt. Bij het lassen heeft men weliswaar niet te maken met ontleding doch met vorming van CO; aangezien echter een katalysator de ligging van een gevallen waarin de vorming van gasmoleculen (speciaal van waterstof) door katalysatorgiften wordt belemmerd, willen wij hier niet uitweiden.

Dat de opgeloste gassen verantwoordelijk zijn voor de gevoeligheid van de electrode Ph 50 voor zwavel, wordt rechtstreeks gedemonstreerd door *fig. 7*. Deze foto toont het resultaat van lasproeven op een koolstofvrije ijzeren grondplaat met een hoog zwavelgehalte (0,25% S). Met een normale electrode Ph 50, waarvan de ijzeren kern 0,1% C bevat, werd de zeer poreuze rups links boven verkregen. Met een koolstofvrije kerndraad kreeg men de minder poreuze rups rechts boven. Dat er in het laatste geval toch nog porositeit optreedt, is te wijten aan de aanwezigheid van waterstof. De twee onderste rupsen, die veel minder poreus zijn, werden verkregen na verhitten van twee van de besproken laselectroden (met en zonder C in de kerndraad) gedurende 2 uren in stromende argon op 850 °C, waardoor de gebonden waterstof vrijwel volledig werd uitgedreven.

Lassen onder verhoogde druk

Bij de voorgaande beschouwingen is steeds aan-

[11]) J. J. Lander en L. H. Germer, Metals Technology **14**, T. P. 2259, September 1947.

[12]) Second report on the heterogeneity of steel ingots, Iron and Steel Institute, London, 1928.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

genomen dat de uitwendige druk bij het lassen 1 atm bedraagt. Het is de moeite waard zich af te vragen wat er zal gebeuren als deze druk groter dan 1 atm is.

De verhoogde druk zal slechts een betrekkelijk geringe invloed hebben op de hoeveelheden gas die in het vloeibare metaal worden opgelost: het stikstofgehalte van het neergesmolten metaal zal wel toenemen (evenredig met de wortel uit de uitwendige druk), doch het zuurstofgehalte, dat blijkens tabel I verreweg de belangrijkste bron voor een eventuele latere gasontwikkeling vormt, wordt in hoofdzaak bepaald door de samenstelling van de bekleding resp. de slak.

Dit laatste wordt o.a. aannemelijk gemaakt door ervaringen bij het lassen met zg. „Contact"-staven. Deze vormen een langere kelk en geven daardoor een betere bescherming van het neersmeltende materiaal tegen de invloed van de atmosfeer; het stikstofgehalte van het lasmetaal blijkt dan ook kleiner te zijn dan in lassen verkregen met de overeenkomstige normale electroden. Men vindt echter hetzelfde zuurstofgehalte.

Zijn nu de in dit artikel ontwikkelde opvattingen over het ontstaan van poriën bij het lassen juist, dan kan men verwachten dat de vergroting van de uitwendige druk tot hetzelfde resultaat zal kunnen leiden als de aanwezigheid van zwavel. Ook een vergroting van de uitwendige druk zal immers de vorming van gaskiemen bemoeilijken, terwijl de beschikbare latente druk in het vloeibare metaal, zoals we zojuist hebben gezien, er vrijwel niet door toeneemt. Wordt de druk zeer groot, dan zal de kiemvorming (zoals wij al eerder zeiden) zelfs geheel worden belet. Doch bij niet al te grote drukverhoging kan de bemoeilijking van de kiemvorming tot gevolg hebben dat het ontsnappen van gassen alleen wordt vertraagd, eventueel tot in het critieke laatste stadium van het stollen. In dat geval kan men porositeit verwachten.

Als experimenteel en tot nu toe onverklaard feit is dit inderdaad reeds sinds 10 jaar bekend: met electroden van het type Ph 50 worden poreuze lassen verkregen indien de totale uitwendige druk bijv. twee of drie atmosfeer bedraagt. Deze ervaring werd opgedaan bij de bouw van de tunnel onder de Maas te Rotterdam, waarbij lasverbindingen in de caissons onder de genoemde hoge druk moesten worden gemaakt [13]).

Tot besluit lijkt het ons wenselijk te herinneren aan de inleiding van dit betoog: we zouden een poging doen een mechanisme voor het verschijnsel van de porositeit bij lassen aan te geven. De critische lezer zal zelf wel hebben opgemerkt dat het ontworpen beeld niet in alle details op exacte gegevens maar veelal slechts op plausibele overwegingen berust. Onze beschouwingen moeten dan ook hun waarde voor een deel daaraan ontlenen dat er vooralsnog geen betere over dit onderwerp bestaan. We hebben een werkhypothese opgesteld; de weg tot een kwantitatief uitgewerkte theorie van het verschijnsel zal wellicht nog lang en moeilijk zijn.

[13]) W. Gerritsen en F. G. van Riet, Smit-Lastijdschr. **3**, 2-12, 1939. — Volgens een mondelinge mededeling van de zijde van de Fa. Smit treedt geen porositeit op bij lassen onder verhoogde druk met electroden van het type Ph 55 resp. Ph 56!

Samenvatting. Bij het lassen met electroden van het type Ph 50 is het onvermijdelijk dat het vloeibare lasmetaal bepaalde hoeveelheden zuurstof, waterstof en ook stikstof opneemt. Bij het stollen komen hierdoor uit het metaal (dat van te voren reeds koolstof in oplossing bevat) CO, CO_2, H_2, H_2O en N_2 in de vorm van gasbellen vrij. Deze ontwikkeling van gassen uit het metaal komt echter in normale omstandigheden vóór het stollen van de buitenste laag tot staan. Weliswaar is dan de „latente druk" der genoemde gassen in het metaal nog groter dan 1 atm (minstens 2,27 atm, zoals een uitvoerige beschouwing leert), maar de vorming van gaskiemen is belet doordat hiervoor, ondanks de medewerking van de „actieve plaatsen" der grenswand tussen vast en vloeibaar metaal, een grote extra druk (capillaire druk) nodig is: een zo grote latente druk is aan het einde van het stollen, als het meeste gas al ontsnapt is, in het algemeen niet meer aanwezig. Treedt nu een belemmering van de vorming van gaskiemen op, hetzij door blokkeren van de actieve plaatsen door zwavel (vergiftiging) hetzij door een verhoogde uitwendige druk, of door nog andere oorzaken, dan kan de vorming van gasbellen in het begin van het stollen worden onderdrukt; zij heeft dan wegens de zoveel grotere oververzadiging wèl aan het einde van het stollen plaats. Door een dergelijke „uitgestelde" gasontwikkeling kan het optreden van porositeit in de lasnaad, en met name de bekende gevoeligheid van electroden van het type Ph 50 voor zwavel, worden verklaard. Ook andere feiten, zoals bijv. de ongevoeligheid van de electrode Ph 56 voor zwavel, passen goed in het beeld. Er blijven echter nog allerlei vragen over, die een verder onderzoek wenselijk maken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN GEMAKKELIJK TRANSPORTABELE KATHODESTRAALOSCILLOGRAAF

door E. E. CARPENTIER. 621.317.755

Reeds jarenlang is de kathodestraaloscillograaf een algemeen bekend en onmisbaar instrument voor het onderzoeken van electrische spanningen (krommevorm, amplitude, frequentie, faseverschuiving, modulatie, enz). De belangstelling voor de oscillograaf is nog aanzienlijk toegenomen sinds ook mechanische en andere niet-electrische grootheden gemakkelijk in een electrische spanning kunnen worden omgezet. Het gewicht en de afmetingen van de oscillograaf hebben echter veelal aan een algemene verbreiding van dit instrument in de weg gestaan. De schrijver zet uiteen hoe hij is gekomen tot een bijzonder klein en licht (en daardoor goedkoper) apparaat, dat bij uitstek geschikt is voor allerlei soorten van routine- en service-werkzaamheden.

Destijds hebben wij in dit tijdschrift een kathodestraaloscillograaf beschreven (type GM 3159) die zich onderscheidde van oudere typen door de aanwezigheid van twee versterkers, een voor de verticale en een voor de horizontale afbuiging [1]). Dit komt de algemene bruikbaarheid zeer ten goede.

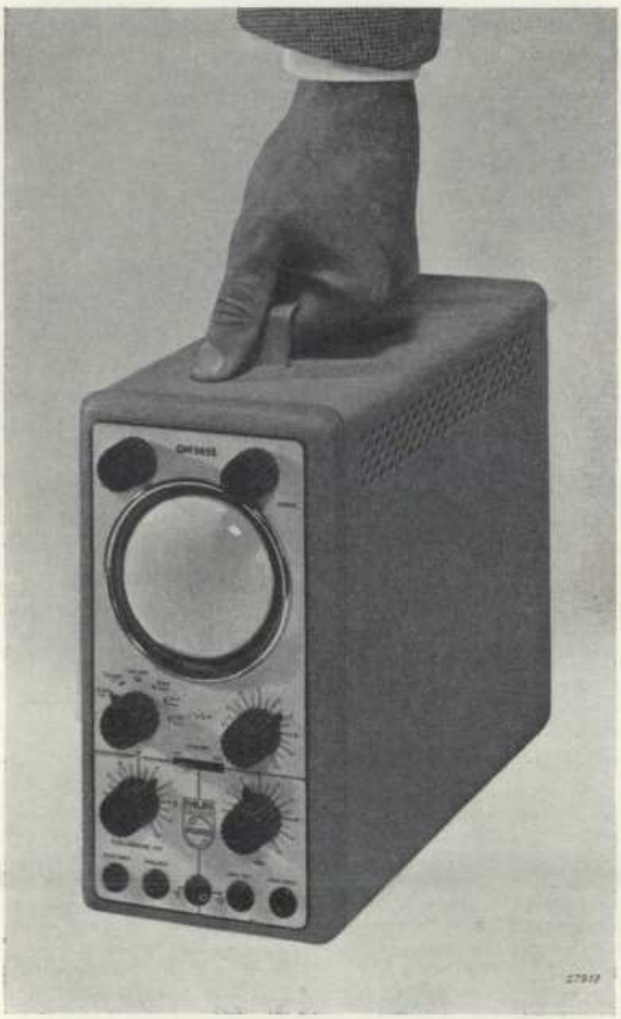


Fig. 1. Voorzijde van de kleine kathodestraaloscillograaf GM 5655 (afmetingen: 11,5 cm × 29,5 cm × 24 cm, gewicht 6,4 kg). Bovenaan de knoppen voor het instellen van de straalintensiteit en het focusseren. Onder het scherm van de kathodestraalbuis: de knoppen voor trapsgewijze en continue regeling van de tijdbasisfrequentie, daaronder de ingangspotentiometers voor de beide afbuigrichtingen, en geheel onderaan de aansluitbussen. — Boven het Philips-embleem bevindt zich de omschakelaar „Intern"-„Extern" (zie tekst).

Hoewel het is gelukt deze oscillograaf aanmerkelijk kleiner en lichter te houden dan haar voorgangsters, bestond toch behoefte aan een type dat nòg gemakkelijker transportabel is. Een oscillograaf is immers langzamerhand een onmisbaar onderdeel geworden voor het doen van onderhoudsmetingen en voor het opsporen van storingen bij telefoondiensten, bij versterker- en radio-installaties, enz. Aan gemakkelijke draagbaarheid wordt daarbij grote waarde gehecht.

Om te voldoen aan deze behoeften, is een nieuw type van oscillograaf (GM 5655) ontwikkeld, dat wij hier zullen beschrijven en dat wij op verschillende punten zullen vergelijken met het zoëven genoemde type GM 3159. De afmetingen van de kleine oscillograaf, die is afgebeeld in *fig. 1*, zijn de volgende: grondvlak 11,5 cm × 29,5 cm, hoogte 24 cm. Het gewicht is 6,4 kg. Het volume (8,2 dm^3) bedraagt slechts 40%, het gewicht 50% van dat van type GM 3159. *Fig. 2* geeft een indruk van het inwendige.

Uiteraard was het niet mogelijk zulk een ingrijpende verkleining te bereiken zonder iets op te offeren van de eigenschappen die het type GM 3159 kenmerken. Het is echter gebleken dat de concessies — waarop wij nog terugkomen — niet groot behoefden te zijn, zodat ook de kleine oscillograaf een ruim gebied van toepassingen zal vinden.

Algemene inrichting

Evenals het type GM 3159 heeft de kleine oscillograaf een kathodestraalbuis met een scherm van 7 cm middellijn, zodat van de beeldgrootte niets is prijsgegeven, en bezit zij twee versterkers, namelijk

[1]) E. E. Carpentier, Een kathodestraaloscillograaf met twee balansversterkers, Philips techn. T. **9**, 202-210, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

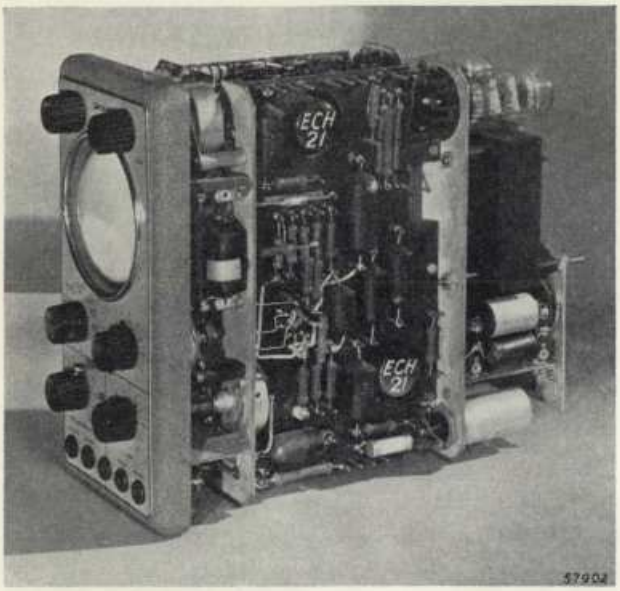


Fig. 2. Het inwendige van de oscillograaf GM 5655. Men ziet twee van de drie buizen ECH 21 en (rechts bovenaan) de beide gelijkrichtbuizen (EZ 2).

de algemeen gebruikelijke versterker voor de verticale afbuiging, en bovendien een voor de horizontale afbuiging. Deze tweede versterker is vaak van waarde als men een spanning wil beschouwen als functie van een willekeurige andere spanning (Lissajous-figuren); dank zij de tweede versterker behoeft de laatstgenoemde spanning slechts een kleine amplitude te hebben om toch het beeld een flinke breedte te geven.

Doch ook als men een spanning wil beschouwen als functie van de tijd, is de tweede versterker van voordeel, en wel om de volgende reden. Wil men rechtstreeks de voor de tijdbasis nodige zaagtandspanning opwekken met een behoorlijk lineair verloop en tevens met een voldoende amplitude om het beeld de volle breedte te geven die het scherm toelaat, dan komt men tot vrij ingewikkelde schakelingen. Daarentegen is een zaagtandspanning met voldoende lineariteit zeer eenvoudig op te wekken als zij klein is, doch dan is een versterker nodig om de spanning de gewenste amplitude te geven. Beschikt men reeds over zulk een versterker — zoals hier — dan is deze methode verre te verkiezen boven de eerstgenoemde.

Zoals blijkt uit het blokschema (*fig. 3*) van type GM 5655, is dan ook voor ieder platenpaar van de kathodestraalbuis permanent een versterker geschakeld (A_v, A_h). Wenst men een spanning te bestuderen als functie van een willekeurige andere spanning, dan voert men deze spanningen toe aan klem *I* resp. *II* en plaatst men de schakelaar S_1 in stand *1*. Wil men daarentegen een spanning beschouwen als functie van de tijd, dan voert men deze spanning weer toe aan klem *I*, maar S_1 moet nu in de stand *2* staan. De zaagtandgenerator *TB* levert dan, via de versterker A_h, een zaagtandspanning die zorgt voor een horizontale uitslag evenredig met de tijd. Deze zaagtandspanning, waarvan de frequentie tussen wijde grenzen regelbaar is, kan worden gesynchroniseerd, hetzij met de spanning die de verticale afbuiging veroorzaakt, hetzij met een willekeurige andere spanning. In het eerste geval moet de schakelaar S_2 staan in de stand „Intern", waarbij de synchronisatie tot stand wordt gebracht door de uitgangsspanning van A_v. In het tweede geval plaatst men S_2 in de stand „Extern" en voert men de synchroniserende spanning toe aan de klem *II*. Tot zover komt de inrichting van de oscillograaf GM 5655 in grove trekken nog overeen met die van het grotere type GM 3159.

Men zal zich wellicht afvragen, op welke wijze de vermelde verkleining van afmetingen en gewicht is bereikt. Het zijn de beeldkwaliteit en de grootte van het frequentiegebied waarvoor de oscillograaf geschikt is, ten aanzien waarvan enige concessies zijn gedaan. Hoe deze zijn om te zetten in een verkleining van het volume en het gewicht, zal blijken uit het volgende.

Beschouwen wij eerst de beeldkwaliteit.

In de kleine oscillograaf is afgezien van symmetrische besturing van de kathodestraalbuis. Het gevolg daarvan is dat zich in zekere mate vervorming voordoet door afbeeldingsfouten [2]), en dat het

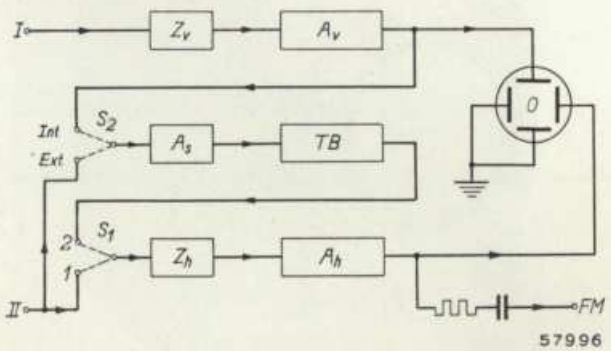


Fig. 3. Blokschema van de kleine oscillograaf. *I*, *II* = ingangsklemmen, Z_v en A_v = verzwakker en versterker voor de verticale afbuiging, Z_h en A_h = idem voor de horizontale afbuiging, *O* = kathodestraalbuis, *TB* = tijdbasis-apparaat (zaagtandgenerator), A_s = versterker voor de synchronisatiespanning, S_1, S_2 = omschakelaars, *FM* = aansluiting voor de frequentiemodulator GM 2881 (zie laatste paragraaf).

lichtvlekje niet op iedere plaats van het scherm even scherp is. Bij type GM 3159 daarentegen is de voorkeur gegeven aan symmetrische besturing, omdat een goede beeldkwaliteit voor bepaalde metingen zeer waardevol is. Er zijn echter talrijke onder-

[2]) Zie Philips techn. T. **4**, 210-216, 1939, in het bijzonder fig. 3 en 4, blz. 211.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zoekingen waarbij de bedoelde afbeeldingsfouten, zolang zij niet in sterke mate optreden, toelaatbaar zijn.

Het voordeel van asymmetrische besturing is dat men geen balansschakeling meer nodig heeft en dus in iedere versterker één buis bespaart. Wij zullen nu eerst de versterkers nader beschouwen.

Versterkers

Onder verwijzing naar het in noot [1]) aangehaalde artikel herinneren wij er aan dat de versterkers van type GM 3159 ieder bestaan uit een balanstrap

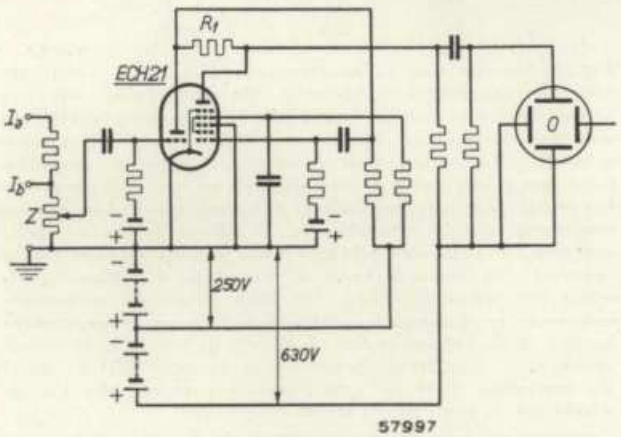


Fig. 4. Schema van de versterkers der oscillograaf GM 5655. Iedere versterker bevat één buis ECH 21. I_a = ingang voor spanningen tot 300 V, I_b = ingang voor spanningen tot 50 V, Z = ingangspotentiometer, R_t = tegenkoppelweerstand, O = kathodestraalbuis (DG 7-2). De voedingsspanningen (250 V + 380 V) worden geleverd door twee in serie geschakelde gelijkrichters, de negatieve roosterspanningen door een klein seleniumventiel.

(zonder voorversterking) die een 560-voudige versterking moet leveren om de oscillograaf de verlangde gevoeligheid te verlenen (overeenstemmend met een ingangsspanning van 25 mV effectieve waarde per cm beeldhoogte). Om deze grote versterking te handhaven in een uitgestrekt frequentiegebied, zijn — zoals betoogd in het bedoelde artikel — een hoge voedingsspanning en een aanzienlijke voedingsstroom nodig (675 V × 35 mA ≈ 24 W voor de anoden en schermroosters van de vier buizen EF 50 tezamen).

Wat het vermogen betreft, is in de versterkers van type GM 5655 een grote besparing bereikt. Ieder van deze versterkers bestaat uit twee trappen (*fig. 4*), met resp. een triode en een heptode die samen in één ballon zijn ondergebracht (ECH 21). Doordat het frequentiegebied is beperkt tot ongeveer 100 kper/sec (bij type GM 3159 strekt het zich uit tot 500 à 1000 kper/sec), kan in de uitgangstrap worden volstaan met slechts 4 mA, bij een voedingsspanning van 630 V. Wegens de kleinere spanningsamplituden in de voortrap heeft deze genoeg aan een voedingsspanning van 250 V, bij een stroom van eveneens 4 mA. Aldus wordt het totale gelijkstroomvermogen dat de versterkers tezamen opnemen: 2 × (250 + 630) V × 4 mA ≈ 7 W, dus slechts 30% van het overeenkomstige bedrag bij type GM 3159. Hieruit vloeit een belangrijke gewichtsbesparing voort, niet alleen van de voedingstransformator (het zwaarste onderdeel van de oscillograaf), maar ook van het chassis waaraan deze transformator is bevestigd. Het kleiner worden van de transformator en het wegvallen van twee buizen en bijbehorende kleinere onderdelen leiden tot een volumebesparing, die op haar beurt weer een lichtere kast mogelijk maakt. Het spreekt van zelf dat een en ander ook resulteert in een lagere prijs.

Indien geen tegenkoppeling werd toegepast, zou de versterking van de voortrap (triode) 12 × zijn en die van de eindtrap (heptode) 400 ×, in totaal dus 4800 ×. Om een vlakke frequentiekarakteristiek en een constante versterking te verkrijgen en tevens niet-lineaire vervorming tegen te gaan, is een tegenkoppeling aangebracht, die de versterking terugbrengt tot 500 ×. Bij deze versterking doet de gevoeligheid (overeenkomende met 30 mV per cm beeldhoogte) nauwelijks onder voor die van type GM 3159. De tegenkoppeling komt tot stand over een netwerk dat in fig. 4 eenvoudigheidshalve is voorgesteld als een weerstand (R_t), doch dat in werkelijkheid zodanig frequentie-afhankelijk is dat de frequentiekarakteristiek van de versterkers (*fig. 5*) wordt verbeterd. Tussen 6 per/sec en 100 000 per/sec wijkt de versterking niet meer dan +5% (0,4 db) en −25% (−2,5 db) af van de nominale waarde.

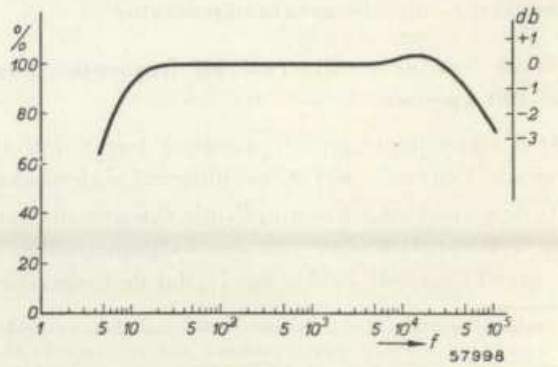


Fig. 5. Frequentiekarakteristiek van de versterkers der oscillograaf GM 5655. De nominale versterking is = 100% gesteld. Rechts een schaal die de afwijking hiervan aangeeft (in db).

Aan de ingang van ieder der versterkers bevinden zich twee verzwakkers, waarvan de ene (Z, fig. 4) continu regelbaar is in de verhouding 1 : 10 000 en een spanning van 50 V kan verdragen. De andere,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

waarbij de ingangsspanning mag worden opgevoerd tot 300 V, bestaat uit een vaste weerstand. Voor het meten van fasebetrekkingen kunnen de versterkers worden gebruikt tot een frequentie van 10 000 per/sec indien men alleen de continue verzwakkers gebruikt, resp. van 2500 per/sec als ook de vaste verzwakkers dienst doen; tot deze grenzen zijn namelijk de faseverschuivingen in de twee versterkers en bijbehorende verzwakkers gelijk en verwaarloosbaar klein.

Tijdbasis

Het opwekken van de zaagtandspanning voor de tijdbasis geschiedt op overeenkomstige wijze als in type GM 3159, namelijk door een overgenererende oscillator. Als buis wordt in deze oscillator hetzelfde type gebruikt als in de versterkers, dus ECH 21, en wel het heptode-gedeelte er van (*fig. 6*).

In verband met het bovengenoemde frequentiegebied van de versterkers zijn de grenzen waartussen de tijdbasisfrequentie continu regelbaar is, als volgt gekozen: 15 per/sec en 20 000 per/sec.

Ook aan het triode-gedeelte van de tot de tijdbasisschakeling behorende buis ECH 21 is een functie toebedeeld: het dient als versterker voor de spanning waarmee men de tijdbasis wil synchroniseren [3]). Daardoor is hier een kleinere spanning voldoende voor het synchroniseren dan bij type GM 3159, waarin deze versterkertrap niet aanwezig is.

Gedurende de terugslagtijd wordt de electronenbundel in de kathodestraalbuis onderdrukt, wat de duidelijkheid van het oscillogram ten goede komt. Evenals in GM 3159 wordt daartoe aan de stuurelectrode van de kathodestraalbuis bij elke terugslag een negatieve spanningsstoot toegevoerd die wordt ontleend aan een weeerstand (R_a, fig. 6) in de anodekring van de zaagtandgenerator.

Gebruik van de oscillograaf bij frequenties hoger dan 100 kper/sec

Ook spanningen met frequenties hoger dan 100 kper/sec kan men met de oscillograaf onderzoeken, mits deze spanningen in amplitude zijn gemoduleerd. Men bedient zich dan van een hulpapparaatje, de zg. meetkop GM 4575, (*fig. 7*), dat de toegevoerde spanning detecteert. Gedacht is hierbij aan het opsporen van fouten in en het controleren van radiotoestellen, installaties voor draaggolftelefonie, enz.

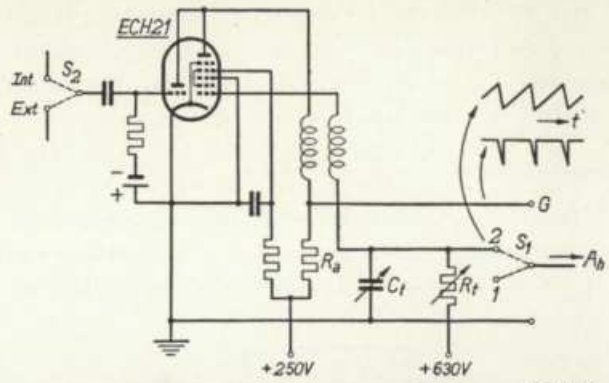


Fig. 6. Schema van de zaagtandgenerator en de versterker voor de synchronisatiespanning. De anodekring van het heptode-gedeelte van de buis ECH 21 is zo sterk gekoppeld met de roosterkring dat een toestand van overgenereren intreedt. Daarbij wordt de roostercondensator C_t periodiek langzaam geladen over de weerstand R_t en snel ontladen over het rooster. De zaagtandvormige spanning aan C_t kan worden toegevoerd aan de versterker A_h. — Alleen tijdens het snelle ontladen van C_t oscilleert de buis even, waarbij zij anodestroom opneemt. Dit veroorzaakt in de weerstand R_a telkens plotseling een spanningsdaling. De aldus verkregen spanningsimpulsen aan de klem G worden gebruikt om de electronenbundel in de kathodestraalbuis tijdens de terugslag te onderdrukken. — Het triode-gedeelte van de buis ECH 21 dient als versterker voor de synchronisatiespanning, die via de schakelaar S_2 (vgl. fig. 3) wordt toegevoerd.

Om bij dergelijke metingen aan radio-ontvangers niet afhankelijk te zijn van een bepaalde zender, is het aan te bevelen, de antenneklem van de te onderzoeken ontvanger aan te sluiten op een zg. service-oscillator, die een hoogfrequente spanning levert waarvan de grootte en de frequentie instelbaar zijn. De modulatiediepte is daarbij bekend, zodat uit de na detectie verkregen laagfrequente spanning volgt hoe groot de hoogfrequente spanning (zonder modulatie) is.

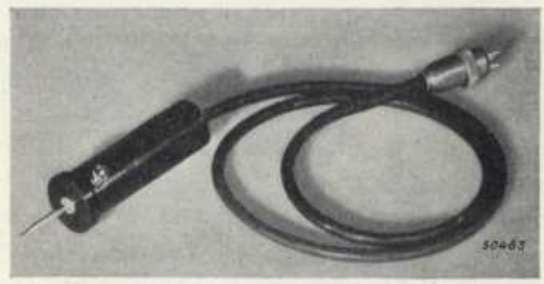


Fig. 7. Hulpapparaat (GM 4575) waarmee het oscillogram van de laagfrequente spanning zichtbaar kan worden gemaakt die op een hoogfrequente spanning is gemoduleerd.

Het bedoelde hulpapparaat bestaat in hoofdzaak uit een kleine „Rimlock"-penthode EF 41, die als roosterdetector dienst doet en die zich bevindt in een huls van „Philite". Deze is enerzijds voorzien

[3]) Onlangs werd in dit tijdschrift een schakeling besproken, waarin eveneens de twee systemen van een buis ECH 21 dienst doen in een zaagtandgenerator resp. voor het synchroniseren er van (zie: J. Haantjes en F. Kerkhof, Een televisie-ontvanger met geprojecteerd beeld, V. De synchronisatie, Philips techn. **T. 10**, 364-370, 1948 (No. 12)), doch waarin de functies van het triode- en het heptodegedeelte juist andersom zijn als hier. Dit hangt samen met het feit dat voor het scheiden van de televisie-synchronisatiesignalen een meerroosterbuis (zoals in het genoemde artikel uitvoerig werd besproken) nodig is. In het geval van de oscillograaf blijkt verwisseling van de functies beter te voldoen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van een metalen aftastpen, anderzijds van een kabel met steker, welke moet worden aangesloten op een stopcontact aan de achterzijde van de oscillograaf. Over deze kabel worden aan de buis EF 41 de nodige voedingsspanningen toegevoerd en wordt haar uitgangsspanning gelegd aan de versterker voor de verticale afbuiging. De schakeling is weergegeven in *fig. 8*.

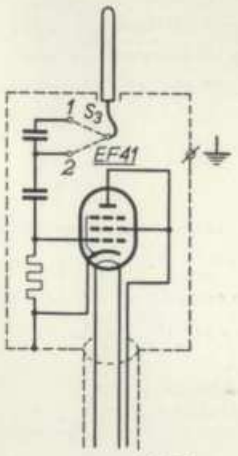


Fig. 8. Schema van het hulpapparaat GM 4575. De penthode EF 41 (hier geschakeld als triode) doet dienst als detector. S_3 = omschakelaar voor kleine of grote gevoeligheid (stand *1* resp. stand *2*).

Brengt men de pen achtereenvolgens in contact met bijv. de ingang en de uitgang van een bepaalde hoog- of middenfrequenttrap, dan kan men, bij een geschikt gekozen gevoeligheid, uit de verhouding van de amplituden der beide oscillogrammen de grootte van de versterking ongeveer bepalen. Reeds door een ruwe vergelijking der amplituden kan men vaak een defect snel localiseren.

Een omschakelaar aan de meetkop veroorlooft de keuze tussen twee gevoeligheden, overeenkomend met 65 resp. 650 mV (effectieve waarde) per cm beeldhoogte bij een modulatiediepte van 30%. Bovendien blijft men voor continue gevoeligheidsregeling beschikken over de ingangspotentiometer van de versterker in de oscillograaf.

Het frequentiegebied van de meetkop strekt zich uit tot ca 30 Mper/sec.

Een tweede soort metingen aan hoogfrequentapparatuur waarbij de kleine oscillograaf goede diensten kan bewijzen, is het opnemen van frequentiekarakteristieken (bijv. resonantiekrommen). Hoe men daarbij te werk kan gaan, is reeds uitvoerig in dit tijdschrift besproken [4]). Daarom volstaan wij nu met de vermelding dat men aan het ontvangtoestel een hoogfrequente spanning toevoert die in frequentie is gemoduleerd volgens hetzelfde laagfrequente zaagtandverloop als dat van de tijdbasis van de oscillograaf. Deze tijdbasis synchroniseert men met bijv. de netfrequentie. De frequentiemodulator die hiervoor nodig is (bijv. type GM 2881), moet te dien einde worden bestuurd door de zaagtandspanning van de tijdbasis. Om deze reden is de oscillograaf GM 5655 voorzien van een aansluiting (*FM*, fig. 3) waarvan men deze spanning kan afnemen.

[4]) H. van Suchtelen, Toepassingen van kathodestraalbuizen in de massafabricage, Philips techn. T. **4**, 90-94, 1939.

Samenvatting. Beschreven wordt een bijzonder kleine en lichte kathodestraaloscillograaf (type GM 5655; 11,6 cm × 29,5 cm × 24 cm; 6,4 kg). Deze kleine afmetingen en gewicht zijn bereikt kunnen worden door beide paren afbuigplaten van de kathodestraalbuis asymmetrisch te besturen en door het frequentiegebied waarvoor de oscillograaf geschikt is, te beperken tot 100 kper/sec. Daardoor kon worden volstaan met een gelijkstroomvermogen van slechts 3,5 W per versterker. — De oscillograaf bevat twee versterkers, voor iedere afbuigrichting één. Die voor de horizontale afbuiging doet naar keuze dienst voor het versterken van een zaagtandspanning (als tijdbasis), of wel van een willekeurige andere spanning (Lissajous-figuren). De beide versterkers zijn identiek en bevatten elk één triode-heptode ECH 21, waarvan de beide systemen in cascade zijn geschakeld. Voor de verticale uitslag is aan de ingang 30 mV (effectieve waarde) nodig per cm beeldhoogte. — In de tijdbasisschakeling (frequentie 15 per/sec - 20 000 per/sec) wordt eveneens een buis ECH 21 gebruikt. Het heptode-gedeelte doet dienst in de zaagtandgenerator, het triode-gedeelte versterkt de synchronisatiespanning. — Met een hulpapparaatje (GM 4575) kan de amplitudemodulatie van een hoogfrequente spanning zichtbaar worden gemaakt (onderzoek van apparaturen voor draaggolftelefonie, van radiotoestellen, enz). Ook leent de besproken oscillograaf zich goed voor het opnemen van frequentiekarakteristieken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

CONSTRUCTIE EN TOEPASSINGEN VAN EEN NIEUWE UITVOERING VAN DE PHILIPS-VACUUMMETER

door F. M. PENNING en K. NIENHUIS.

531.788.732

De reeds 12 jaar oude Philips-vacuummeter, waarbij de grootte van de gasdruk wordt gemeten door de stroomsterkte van een gasontlading in een magnetisch veld, heeft op velerlei gebied toepassing gevonden en daarbij zijn bruikbaarheid bewezen. Intussen is gebleken, dat er ook behoefte bestaat aan een dergelijke eenvoudige vacuummeter die voor nog lagere gasdrukken bruikbaar is. Door een verandering in de constructie van de bestaande vacuummeter is hierin voorzien. In zijn nieuwe uitvoering is het instrument ook zeer goed bruikbaar als lekkenzoeker.

Twaalf jaar geleden werd in dit tijdschrift een beschrijving gegeven van de Philips-vacuummeter [1]). De hierin gebruikte manometerbuis bevat twee evenwijdige zirconiumplaatjes als kathode en een ring als anode (*fig. 1a*), en bevindt zich tussen de polen van een permanente magneet waarvan het veld loodrecht op de kathode staat. Ten gevolge van het bijzondere verloop van de electrische en magnetische krachtlijnen binnen de buis gaan de electronen hierin talloze malen heen en weer alvorens de anode te bereiken, zodat zij veel vaker botsen met gasmoleculen dan het geval zou zijn bij een rechtstreekse overgang van kathode naar anode. Dit grote aantal botsingen kan worden geïnterpreteerd als afkomstig te zijn van een schijnbare verhoging van de gasdruk. Dientengevolge is hier nog een gasontlading tussen koude electroden mogelijk bij een ca 1000 × zo lage druk als in een buis van soortgelijke constructie zonder magnetisch veld. Experimenteel blijkt de grootte van de ontladingsstroom een goede maat voor de grootte van de druk.

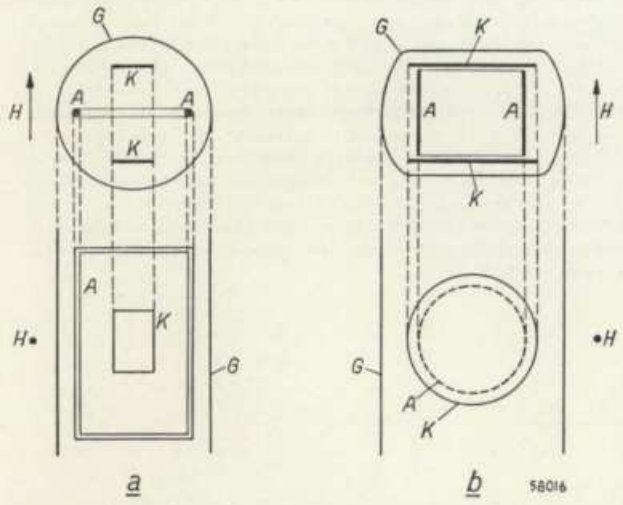


Fig. 1. Schematische voorstelling van de stand van de kathode K en de anode A van de Philips-vacuummeter. G stelt de glazen wand voor en H de richting van het magnetische veld. *a*) Het vroegere model. *b*) De nieuwe uitvoering.

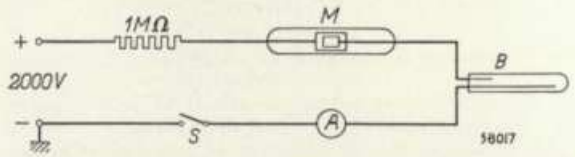


Fig. 2. De schakeling van de manometerbuis M in serie met het glimlichtbuisje B, dat als stroomaanwijzer dienst doet, en een micro-ampèremeter A. Deze schakeling wordt zowel bij het oude als bij het nieuwe model gebruikt.

Deze vacuummeter, waarvan de schakeling in *fig. 2* is aangegeven, is de laatste jaren op uitgebreide schaal toegepast voor het controleren van de druk bij de fabricage van electronenbuizen en bij toestellen waarin het vacuum door middel van een pomp op peil moet worden gehouden, zoals in een tweetal apparaten die vroeger in dit tijdschrift zijn beschreven: de neutronengenerator [2]) en het electronenmicroscoop [3]). De bedoelde vacuummeter kan ook, zoals in de literatuur is beschreven, worden gecombineerd met een „Pirani"- [4]) of met een thermokoppelmanometer [5]), waardoor dan een groter drukgebied wordt bestreken. Verder leent dit instrument zich goed voor het in werking stellen van een bepaald signaal [6]) of het bekrachtigen van een

[1]) F. M. Penning, Manometers voor lage gasdrukken, Philips techn. T. **2**, 201-208, 1937.

[2]) F. A. Heyn en A. Bouwers, Een apparaat voor het transmuteren van atoomkernen, Philips techn. T. **6**, 46-53, 1941.

[3]) A. C. van Dorsten, W. J. Oosterkamp en J. B. le Poole, Een experimenteel electronenmicroscoop voor 400 kilovolt, Philips techn. T. **9**, 193-201, 1947.

[4]) N. C. Picard, P. C. Smith en S. M. Zollers, A reliable high vacuum gauge and control system, Rev. sci. Instr. **17**, 125-129, 1946.

[5]) R. I. Garrod en K. A. Gross, A combined thermocouple and cold-cathode vacuum gauge, J. sci. Instr. **25**, 378-383, 1948.

[6]) R. S. Mackey, Nonlinear indicator for vacuum gauge, Electronics, Febr. 1948, p, 140.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

relais [4])[7]) op het ogenblik dat de druk een bepaald bedrag overschrijdt.

Voor dergelijke toepassingen is het bestreken drukgebied van $2 \cdot 10^{-3}$ tot 10^{-5} mm Hg meestal voldoende, maar bij de fabricage van buizen die bijzonder gevoelig zijn voor gas is het wenselijk ook lagere drukken te kunnen meten.

De nieuwe manometerbuis

De nieuwe vacuummeter, speciaal bestemd voor deze lagere drukken, is uitgevoerd met een ander electrodensysteem (fig. 1*b*). De kathodeplaatjes zijn

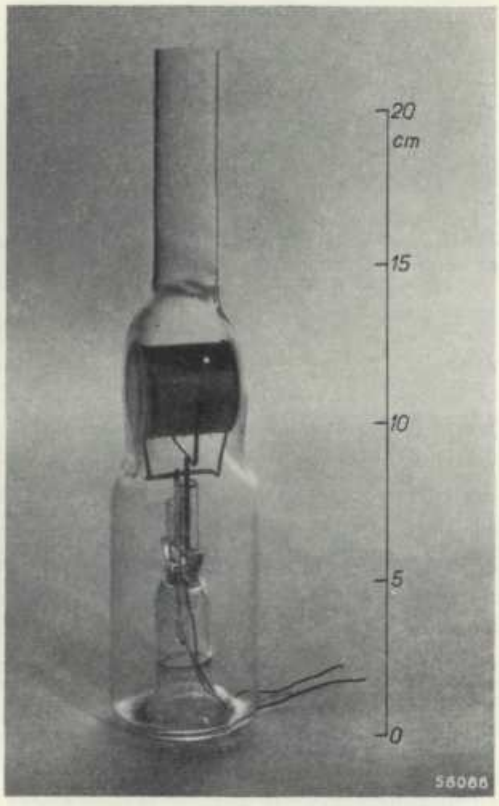


Fig. 3. Foto van de nieuwe manometerbuis.

ronde schijfjes, evenwijdig aan de as van de glazen buis, de anode is een cylindermantel loodrecht daarop. Ter plaatse van de kathodeplaatjes is aan deze glazen buis een afgeplatte vorm gegeven. Ten gevolge van deze constructie kan bij de nieuwe buis dezelfde permanente magneet gebruikt worden als bij de oude, terwijl ook de electrische schakeling (fig. 2) volkomen dezelfde kan blijven. *Fig. 3* geeft een foto van de nieuwe buis. Vergeleken met de oude heeft deze nog het voordeel, dat de gehele ontladingsruimte nu door de electroden wordt omsloten en de ontlading niet meer door de glaswand en het door kathodeverstuiving daarop ontstaande dunne laagje metaal kan worden beïnvloed.

In *fig. 4* is de stroom door de manometerbuis als functie van de gasdruk uitgezet voor de, ook bij het vorige type gebruikelijke, waarden van spanning en voorschakelweerstand (2000 V, 1 MΩ). Deze kromme geldt voor lucht [8]), het verloop hangt min of meer af van de aard van het gas. Vergelijking met de analoge kromme (gestippeld weergegeven) voor de oude buis (fig. 1*a*) laat zien, dat de nieuwe een ca 10 × zo grote gevoeligheid heeft, hetgeen o.a. te danken is aan het feit, dat de werkzame oppervlakte van de kathode 4 maal zo groot is als in het geval van fig. 1*a*. De kromme voor de nieuwe buis is als getrokken lijn getekend tot een druk van ca 10^{-6} mm Hg; in werkelijkheid blijft de ontlading bij drukken beneden deze grens echter wel degelijk voortgaan. Voor dit gebied wordt de gevoeligheid ongeveer door de gebroken lijn aangegeven; een ijking is bij deze lage drukken zeer moeilijk.

In de eerste beschrijving van de Philips-vacuummeter [9]) is reeds opgemerkt, dat er, bij verlaging van de druk, soms een plotselinge sprong in de

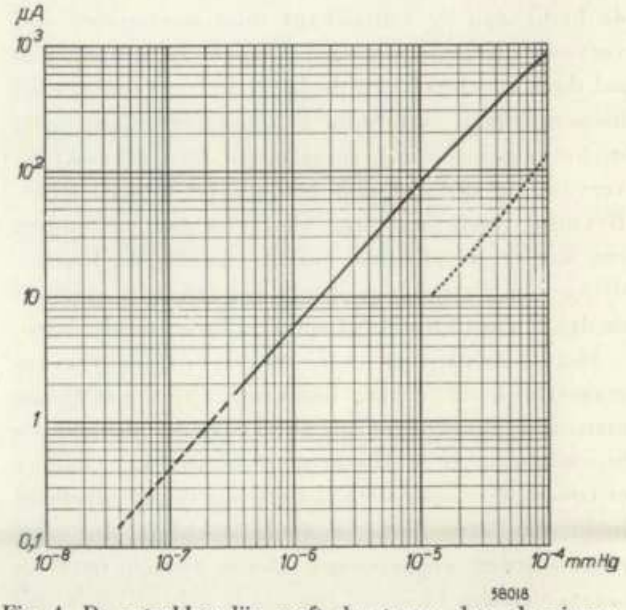


Fig. 4. De getrokken lijn geeft de stroom door de nieuwe manometerbuis, uitgezet als functie van de gasdruk, bij de gebruikelijke waarden van spanning en voorschakelweerstand (2000 V, 1 MΩ). De vermoedelijke voortzetting van de kromme naar lagere drukken is door de streeplijn weergegeven; de stippellijn heeft betrekking op de oude manometerbuis.

[7]) H. A. Thomas, T. W. Williams en J. A. Hipple, A mass spectrometer type of leak detector, Rev. sci. Instr. **17**, 368-372, 1946; Detecting vacuum leaks electronically, Westinghouse Engineer, July 1946, p. 108.

[8]) De getekende kromme is een gemiddelde voor drie verschillende buizen; de grootste afwijking bedroeg 30 %.

[9]) F. M. Penning, Ein neues Manometer für niedrige Gasdrücke, insbesondere zwischen 10^{-3} und 10^{-5} mm, Physica 's-Grav. **4**, 71-75, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stroomsterkte optreedt. Bij verscheidene exemplaren van de nieuwe uitvoering werd zo'n sprong opgemerkt in de buurt van 10^{-4} mm Hg, dus bij de bovenste grens van het drukgebied. Daarbeneden waren de sprongen slechts klein.

Evenals bij de oude constructie kan men hier voor stromen tussen 10 en 1000 μA een glimlichtbuisje (bijv. Philips 4662) als stroomaanwijzer gebruiken (zie fig. 2), maar beneden 10 μA is men op een gevoeliger meetinstrument aangewezen. Een lichtvlekgalvanometer met bijv. 100 schaaldelen voor 1 μA is hiervoor zeer geschikt; één schaaldeel correspondeert dan met een drukverschil van de orde van 10^{-8} à 10^{-9} mm Hg. Het spreekt vanzelf, dat men, om in het gebied beneden 10^{-5} mm Hg nog enigszins reproduceerbare resultaten te krijgen, alle glaswanden en electroden, met inbegrip van de manometerbuis zelf, zorgvuldig dient te ontgassen.

Lekkenzoekers

Bij iedere pompinstallatie kan de manometer tevens worden gebruikt voor het constateren en opsporen van eventuele lekken. Om de plaats van een lek in het leeg te pompen object (bijv. een zendbuis of de pompinstallatie zelf) te vinden, gaat men in de regel zo te werk, dat men achtereenvolgens bij verschillende gedeelten van de gehele apparatuur de lucht aan de buitenkant door een andere stof vervangt. Gebeurt dit op de plaats van het lek, dan zal daar in plaats van de lucht de vervangingsstof binnendringen, waardoor de manometeraanwijzing in het algemeen zal veranderen. Men gebruikt als vervangingsstof dikwijls een vloeistof bijv. water. Bevindt zich nu aan het toestel bovendien een koeler in vloeibare lucht, waarin de binnendringende waterdamp direct condenseert, dan zal de druk in het toestel tot een zeer lage waarde dalen.

Het gebruik van een vloeistof als vervangingsstof heeft echter bezwaren. Niet altijd kan men deze aanbrengen op de verdachte plaatsen en bovendien is de methode zeer omslachtig, wanneer er tussen de vloeistof en het lek nog een hoeveelheid lucht van atmosferische druk overblijft, die eerst moet worden weggepompt. Het is daarom beter in plaats van een vloeistof een gas te gebruiken, waarmee men de verdachte plekken kan bespuiten. Inderdaad is dit principe de laatste jaren op allerlei manieren toegepast. We zullen ons daarom verder tot gassen als vervangingsstof beperken. Op de gewone methode, waarbij het lek uit een verandering van de manometeraflezing bij bespuiting van de verdachte plaats wordt afgeleid, komen we aanstonds terug; we noemen eerst enkele andere methoden.

Men kan bij voorbeeld de kleuromslag van een gasontlading in de opstelling als indicatie gebruiken. Tot nu toe wekte men deze ontlading gewoonlijk op met een Tesla-spoel. De druk moet hiervoor echter vrij hoog zijn (minstens 10^{-3} mm Hg). Bij lagere drukken kan men de kleuromslag van de ontlading in de Philips-vacuummeter (oude vorm) zelf waarnemen, wanneer men de buis voorziet van een venster op zo grote afstand van de ontlading, dat het vrij blijft van verstoven materiaal (zie *fig. 5*). Bij het bespuiten van een lek met bijv. waterstof ziet men duidelijk de kleur van het licht in de manometerbuis veranderen.

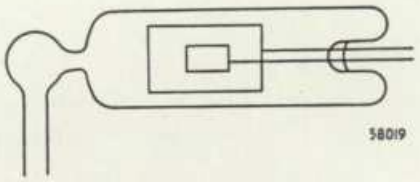


Fig. 5. Een vacuummeter (oude uitvoering), gebruikt als lekkenzoeker, waarbij een venster is aangebracht. Bij bespuiting van de lekke plaats met een ander gas dan lucht ziet men de kleur van de ontlading veranderen.

Voor kleinere lekken heeft men andere methoden uitgewerkt [10]). Deze waren van groot belang bij het kernenergie-onderzoek, waar ze dienden voor het controleren van de uitgebreide vacuumapparaturen die nodig zijn voor het afscheiden van U^{235} [11]). Voor dit doel bouwde men aan het apparaat een massaspectrograaf [7]) die speciaal op helium reageert en men controleerde dan het vacuumdicht-zijn door bespuiting met helium. Deze methode heeft het grote voordeel, dat dit vervangingsgas niet als verontreiniging uit het apparaat zelf afkomstig kan zijn, in tegenstelling met bijv. waterstof. In de meeste landen is helium echter te kostbaar om hiervoor in aanmerking te komen, terwijl anderzijds de massaspectrograaf een vrij ingewikkeld apparaat is en de daarbij optredende stromen vóór de meting moeten worden versterkt.

In verschillende opzichten is eenvoudiger een methode waarbij gebruik wordt gemaakt van de omstandigheid, dat een verhitte palladiumwand alleen waterstof en geen lucht doorlaat. Hierbij moet men dus dit gas als vervangingsstof gebruiken. *Fig. 6* geeft het principe weer; de van te voren geëvacueerde manometer *M* (bijv. een ionisatiemanometer) is door het palladiumbuisje *P* van de te onder-

[10]) Voor een uitgebreider overzicht zie men het zojuist verschenen boek van S. Dushman, Scientific foundation of high vacuum technique, John Wiley and Sons, New York 1949.

[11]) R. B. Jacobs en H. F. Zuhr, New developments in vacuum engineering, J. appl. Phys. **18**, 34-48, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zoeken apparatuur gescheiden. P kan met behulp van de gloeidraad F worden verwarmd. Zodra nu de waterstofstraal de plaats van het lek treft, dringt waterstof door P in M binnen en doet daar de druk toenemen.

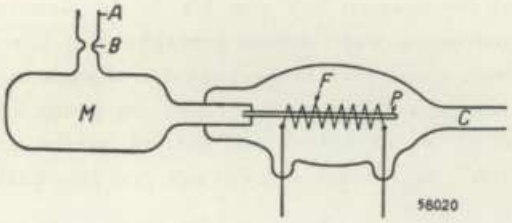


Fig. 6. Principe van een lekkenzoeker met palladiumwand. M is de manometerbuis, die via de buis A leeggepompt en ontgast is, vervolgens bij B afgesmolten en daarna bij C verbonden met de pompopstelling. P is het palladiumbuisje, dat door de spiraal F kan worden verwarmd.

De nieuwe manometerbuis als lekkenzoeker

Ten gevolge van zijn grote gevoeligheid is de boven beschreven, nieuwe vacuummeter zeer geschikt voor het opsporen van kleine lekken. Men kan daartoe bijv. de opstelling van fig. 6 gebruiken, waarbij M dan de nieuwe buis voorstelt, die eerst via de buis A leeggepompt en ontgast is, en vervolgens bij B afgesmolten wordt. Daarna wordt het geheel bij C met de pompopstelling en de te onderzoeken apparatuur verbonden.

Voor het zoeken van een lek verwarmt men het palladiumbuisje met de gloeidraad F en schakelt men de stroom door de manometerbuis in. Daar de ontlading gas doet verdwijnen, zal zich na enige tijd een lage evenwichtsdruk instellen, die niet nul is, daar er meestal nog enige waterstof door het verhitte palladium heen komt ten gevolge van het feit dat in de pompopstelling waterstof of waterstofverbindingen aanwezig zijn. Om het lek te localiseren sluit men nu de pomp door middel van een kraan af en zoekt men op de boven beschreven manier de buitenzijde van de apparatuur met waterstof af. Zodra de stroom door de manometerbuis toeneemt, is dit een aanwijzing, dat men het lek heeft getroffen. Worden zulke hoeveelheden waterstof gebruikt, dat er explosiegevaar zou kunnen ontstaan, dan kan men in plaats van waterstof een mengsel van waterstof met een ander gas gebruiken, waarbij natuurlijk de gevoeligheid der methode kleiner wordt.

Fig. 7 geeft een beeld van een dergelijke lekkenzoeker, bestaande uit een manometerbuis in het veld van een permanente magneet en een ballon met een palladiumbuisje. Dit buisje wordt hier door directe stroomdoorgang verhit. Het geheel wordt aan het rechteruiteinde met de te onderzoeken apparatuur verbonden.

Fig. 8 geeft enkele voorbeelden van het stroomverloop als functie van de tijd, wanneer een lekke plaats in een opstelling (totaal volume ca 2 liter) afwisselend aan lucht en aan waterstof wordt blootgesteld. Bij de naar boven wijzende pijl begint de bespuiting met waterstof, bij de naar beneden wijzende houdt zij op. Men ziet, dat de druk na het beëindigen van de bespuiting nog enige tijd blijft toenemen. Dit moet daaraan worden toegeschreven, dat het lekkanaal dan nog met waterstof is gevuld. Het stijgen van de druk houdt pas op, wanneer alle waterstof in dit kanaal weer door lucht is vervangen en zich door de pompopstelling heeft verspreid.

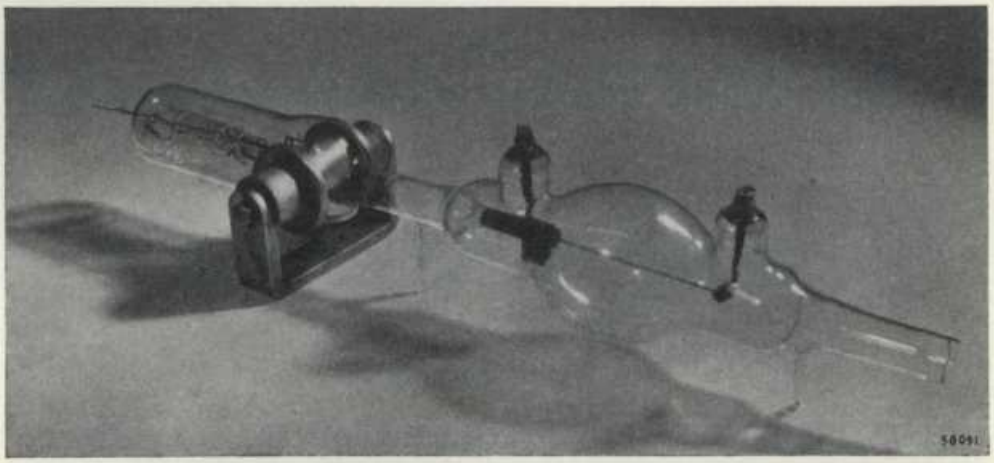


Fig. 7. De nieuwe manometerbuis als lekkenzoeker volgens het principe van fig. 6. Links bevindt zich de nieuwe manometer met magneet, rechts de ballon met het palladiumbuisje, dat door directe stroomdoorgang via de aan de bovenzijde aangebrachte contacten wordt verhit.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het lek werd bij deze en latere metingen kunstmatig gevormd door een zeer nauwe glazen capillair, die met de buitenlucht in open verbinding staat. Om een dergelijke capillair te maken vernauwt men in de vlam eerst de diameter zover tot het inwendige luchtkanaal nog juist zichtbaar is. Daarna trekt men de buis verder uit en breekt haar op het nauwste gedeelte door. Het lek kan vergroot worden door een stukje van de capillair af te breken en de buis kan worden dichtgemaakt door het uiteinde even in de vlam te houden. De doorlating wordt van te voren gemeten door de lucht gedurende een lange tijd te laten inlekken. Op deze wijze is het mogelijk capillairen te maken die minder dan 10^{-7} cm³ × mm Hg lucht per seconde doorlaten.

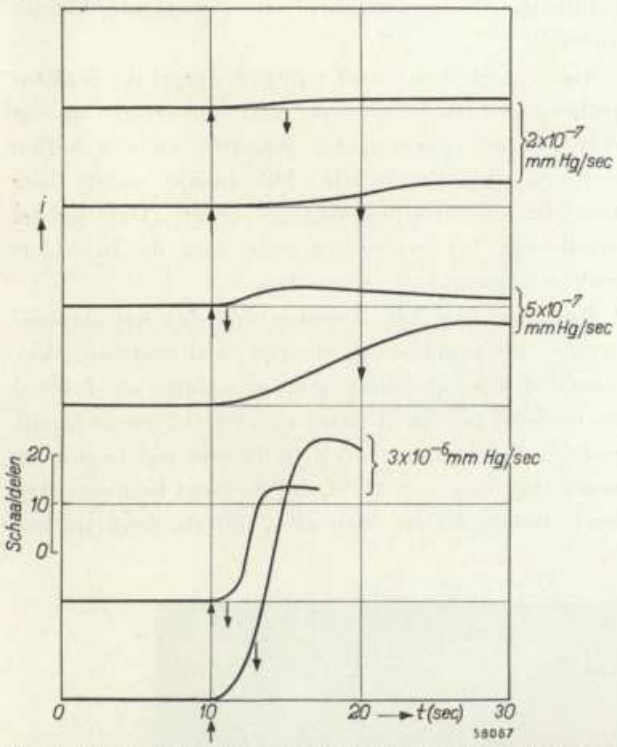


Fig. 8. Enige voorbeelden van het stroomverloop als functie van de tijd, wanneer een lekke plaats in de opstelling afwisselend aan lucht en waterstof wordt blootgesteld. Bij de naar boven gerichte pijl begint de bespuiting met waterstof, bij de naar beneden wijzende pijl houdt zij op. De beginstroom in lucht voor $0 < t < 10$ sec is op een willekeurige hoogte boven de t-as aangegeven. Over de gevoeligheid kan men zich een oordeel vormen met behulp van de in de figuur weergegeven grootte van de schaaldelen van de stroommeter. Bij de krommen is rechts de grootte van het lek in lucht in mm Hg per seconde aangegeven.

De hoeveelheid waterstof die het palladium doorlaat hangt af van het drukverschil tussen de beide ruimten en dus van de toeneming van de druk in de opstelling. Bij een gegeven lek is de gevoeligheid van deze methode dus ongeveer omgekeerd evenredig met het volume van de opstelling.

Reeds eerder heeft men — zoals we boven al opmerkten — een gloeiende palladiumwand gecombineerd met een ionisatiemanometer met gloeikathode [12]), waarbij men de druk afleidt uit de verhouding van de ionen- tot de electronenstroom. De hier beschreven methode is eenvoudiger doordat men slechts één stroom behoeft te meten, die bovendien groter is dan de onversterkte ionenstroom bij de andere methode. Een ander voordeel is, dat men het bij het constateren van een lek in de manometer doorgedrongen waterstofgas gemakkelijker kan verwijderen, zodat men vlugger tot de volgende meting kan overgaan. Bij de methode met een koude kathode zal nl. de ontlading zelf het gas sneller „wegbranden" dan wanneer men met een gloeikathode werkt.

Voor het constateren van nog kleinere lekken bij buizen die van de pompopstelling kunnen worden afgesmolten, is een andere werkwijze, zonder palladiumbuisje, beter. Men voorziet de te onderzoeken buis van een manometerbuis, pompt en

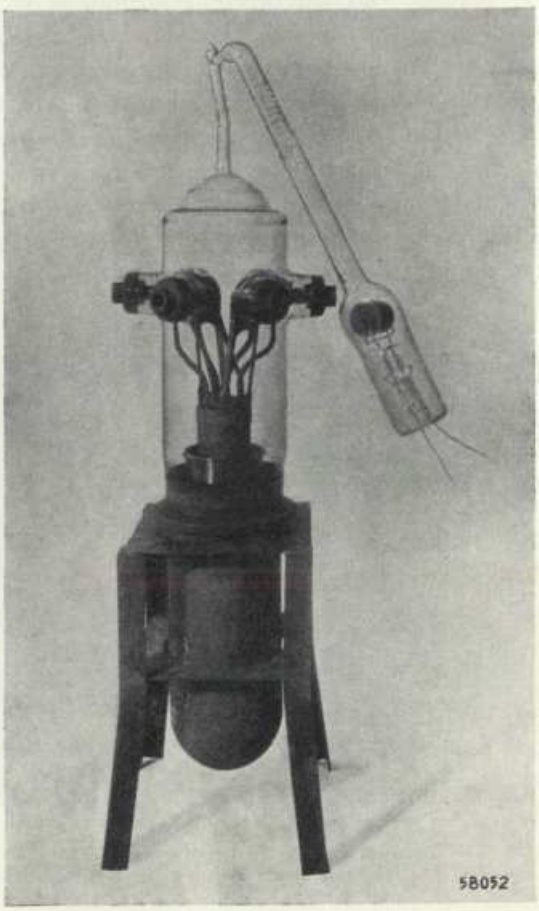


Fig. 9. Foto van een zendbuis met aangesmolten manometerbuis, waarbij een lek werd geconstateerd in een van de metalen doppen voor de stroomdoorvoeren.

ontgast de combinatie van beide toestellen zo goed mogelijk, en smelt het geheel van de pomp af; zie bijv. *fig. 9*. Men schakelt dan de manometerstroom in tot deze een constante waarde bereikt. Zoals reeds werd opgemerkt, verdwijnt er door de ontlading een

[12]) H. Nelson, The hydrogen gauge, an ultrasensitive device for location of air leaks in vacuum-device envelopes, Rev. sci. Instr. **16**, 273-275, 1945.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zekere hoeveelheid gas. In de evenwichtstoestand is nu blijkbaar de hoeveelheid die de ontlading per seconde „wegbrandt" even groot als de som van wat er naar binnen lekt en wat er nog van de wanden enz. vrijkomt. Is het bedrag van dit vrijkomende gas te verwaarlozen, dan kan men zich op grond van de manometerstroom al enig denkbeeld vormen over de grootte van het lek. Vroeger [8]) is nl. reeds geconstateerd, dat in een goed ontgaste buis ca 20 i cm³ × mm Hg lucht per seconde wordt „weggebrand", als i de stroom in ampères voorstelt. In het zoëven veronderstelde geval is dit dan ook hetgeen per seconde naar binnen lekt.

Ten einde het lek te localiseren kan men nu de te onderzoeken buis weer met een ander gas dan lucht gaan bespuiten. De stroom door de manometerbuis zal in het algemeen afhangen van de aard van het gebruikte gas, omdat zowel de snelheid van het binnenlekken als die van het „wegbranden" daarmee verband houdt, en bovendien ook de gevoeligheid van het instrument afhankelijk is van de gassoort. Met argon en waterstof als vervangingsstof werden bijv. goede resultaten bereikt. *Fig. 10a* geeft enkele voorbeelden waarbij argon gebruikt werd. Het lek werd weer gevormd door een capillair van de boven beschreven vorm. In het geval van fig. 10*a* was deze direct aan de manometer gesmolten, zoals in fig. 10*b* is aangegeven. De pijlen geven op dezelfde manier als in fig. 8 het begin en het eind van de bespuiting van het lek met het vervangingsgas aan. Wordt slechts gedurende 1 sec bespoten, dan neemt de stroom blijkens fig. 10*a* weer binnen enkele seconden zijn beginwaarde aan wegens het „wegbranden" van het argon. Bij bespuiting gedurende 10 sec (stippellijn, bijbehorende pijl ook gestippeld) bereikt de stroom binnen enkele seconden een nieuwe evenwichtstoestand, waarbij evenveel argon wordt „weggebrand" als er naar binnen lekt.

Op deze wijze kunnen nog zeer kleine lekken, van ca 2×10^{-7} cm³ × mm Hg/sec, overeenkomende met een druktoeneming in het volume van de manometer van 0,0025 mm per maand, worden geconstateerd. De gevoeligheid is enkele honderden malen groter dan voor de massaspectrograafmethode wordt opgegeven. Deze laatste methode heeft echter het voordeel, dat het binnenlekkende helium ook kan worden aangetoond, wanneer er reeds een vrij grote druk van andere gassen in de opstelling aanwezig is. Bovendien is voor het bereiken van de grootste gevoeligheid met de hier beschreven methode essentieel, dat opstelling en manometer samen goed ontgast zijn, zodat de restdruk alleen door het lek wordt bepaald.

Meestal zal men buizen willen onderzoeken met een volume van dezelfde orde van grootte als of groter dan dat van de manometerbuis. In dit geval zal het langer duren, voordat de lucht door het spuitgas is verdrongen. *Fig. 11a* geeft hiervan een voorbeeld; daarbij is tussen de lekcapillair en de manometerbuis een volume van ca 1 liter ingeschakeld (fig. 11*b*). Bij eenzelfde grootte van het lek zullen nu zowel de beginwaarde vóór als de eindwaarde na het bespuiten dezelfde zijn als in het geval van fig. 10. In beide gevallen is immers bij het bereiken van de evenwichtsstand de hoeveelheid gas die door de ontlading verdwijnt gelijk aan de hoeveelheid die naar binnen lekt. De overgang van de begin- naar de eindwaarde heeft echter bij tussenschakeling van het volume van 1 liter

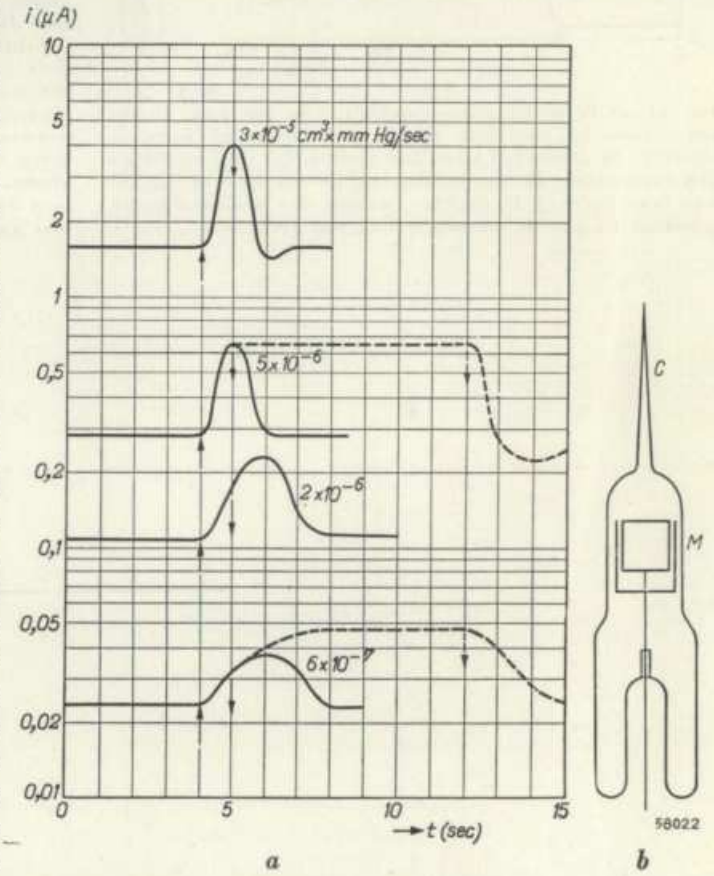


Fig. 10. *a*) Enige voorbeelden van het constateren van lekken bij een buis die met de manometerbuis samen gepompt en afgesmolten is (vervangingsgas: argon). De grootte van het lek is rechts van de krommen in cm³ × mm Hg per seconde aangegeven. Komt er van de glaswand en de electroden geen gas meer vrij, dan geeft de grootte waarop de manometerstroom zich, met lucht om de buis, instelt ($t < 4$ sec in de figuur) reeds een oordeel over de grootte van het lek. *b*) De manier waarop het kunstmatige lek in de vorm van een capillair C aan de manometerbuis was verbonden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

veel langzamer plaats. Dit blijkt uit een vergelijking van fig. 11*a* met fig. 10*a*. In fig. 11*a* is namelijk bovendien met een stippellijn aangegeven wat men voor de toeneming van de stroom zou mogen verwachten in geval het volume van 1 liter was weggelaten. Bij grotere volumina neemt het lekkenzoeken dus aanmerkelijk langere tijd in beslag; maar afgezien hiervan is de gevoeligheid even groot als bij kleinere volumina.

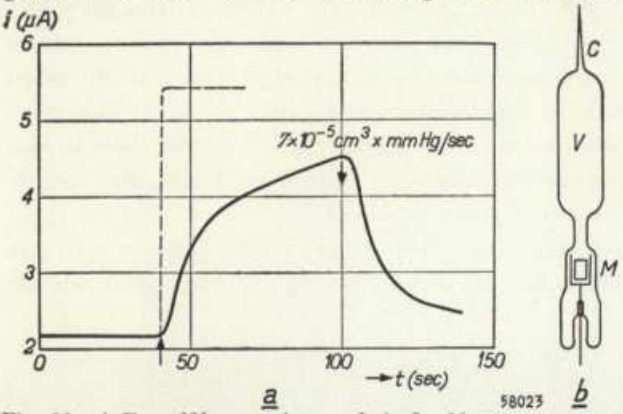


Fig. 11. *a*) Eenzelfde experiment als in fig. 10*a*, maar nu met een volume V van 1 liter tussen de manometerbuis en de capillair. De stippellijn toont het verloop dat men bij dit lek kan verwachten, als de capillair op de manier van fig. 10*b* was bevestigd. *b*) De manier waarop het kunstmatige lek (capillair C) aan de manometerbuis was verbonden.

Samenvatting. De vroeger in dit tijdschrift beschreven Philips-vacuummeter is bruikbaar voor gasdrukken van $2 \cdot 10^{-3}$ tot 10^{-5} mm Hg. Om een op hetzelfde principe berustende manometer te verkrijgen die bruikbaar is voor lagere drukken is het electrodensysteem vervangen door een ander, bestaande uit twee evenwijdige ronde metalen plaatjes als kathode en een anode in de vorm van een cylindermantel. Om de afstand tussen de poolschoenen van de permanente magneet, die de glazen buis omsluit, zo klein mogelijk te houden, is aan deze buis daar ter plaatse een afgeplatte vorm gegeven. De gevoeligheid van het instrument in deze nieuwe uitvoering blijkt door deze verbeteringen ca 10 × zo groot te zijn geworden: het bestrijkt een gebied van 10^{-4} tot 10^{-6} mm Hg en is waarschijnlijk tot beneden 10^{-7} mm Hg bruikbaar. Vacuummeters worden gewoonlijk ook gebruikt als lekkenzoekers bij apparaturen en leidingen. Enige methoden die daarbij toepassing vinden worden in het kort besproken. Aangegeven wordt hoe men hiervoor de vacuummeter in zijn nieuwe uitvoering het best kan gebruiken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

HET VERWARMEN VAN DE GLOEIDRADEN DER VENTIELEN IN EEN CASCADEGENERATOR DOOR MIDDEL VAN HOOGFREQUENTE STROOM

door Tj. DOUMA en H. P. J. BREKOO.

621.314.671:621.3.032.44:621.3.023

In een cascadegenerator bevinden zich de gloeidraden der ventielen op zeer hoge potentialen ten opzichte van aarde. Het moeilijke vraagstuk hoe deze te verwarmen is in principe op fraaie wijze opgelost door het gebruik van hoogfrequente stroom. Bij de technische uitvoering hiervan stuitte men echter op bezwaren, die aanvankelijk hebben geleid tot een zeer ingewikkelde schakeling. Zo waren in een cascadegenerator met twaalf ventielen niet minder dan 15 afgestemde kringen nodig. Mede dank zij het gebruik van „Ferroxcube" als kern van de gloeistroomtransformatoren is het mogelijk gebleken de schakeling aanmerkelijk te vereenvoudigen.

Zowel voor het opwekken van röntgenstralen als voor kernphysisch onderzoek heeft men zeer hoge gelijkspanning nodig. Voor het leveren van zulk een spanning, bijv. in de orde van 10^5 tot 10^6 V, is de cascadegenerator zeer geschikt. In dit tijdschrift is de schakeling van deze generator al meermalen beschreven [1]), reden waarom wij hier volstaan met een korte toelichting in het onderschrift van *fig. 1*, die de schakeling in haar eenvoudigste vorm weergeeft.

Bij het ontwerpen van een cascadegenerator komt men voor de vraag te staan, hoe men het vermogen dat nodig is voor het verwarmen van de gloeikathoden der ventielen, het beste kan toevoeren. Het meest voor de hand ligt, ieder ventiel te voorzien van een eigen, op het net aangesloten gloeistroomtransformator. Bij installaties voor zeer hoge spanning stuit men dan echter op grote moeilijkheden met het onderling isoleren van de beide wikkelingen der transformatoren, vooral bij de bovenste ventielen (bovenste zowel in het schema als in de werkelijke uitvoering), die de hoogste spanning ten opzichte van aarde vertonen.

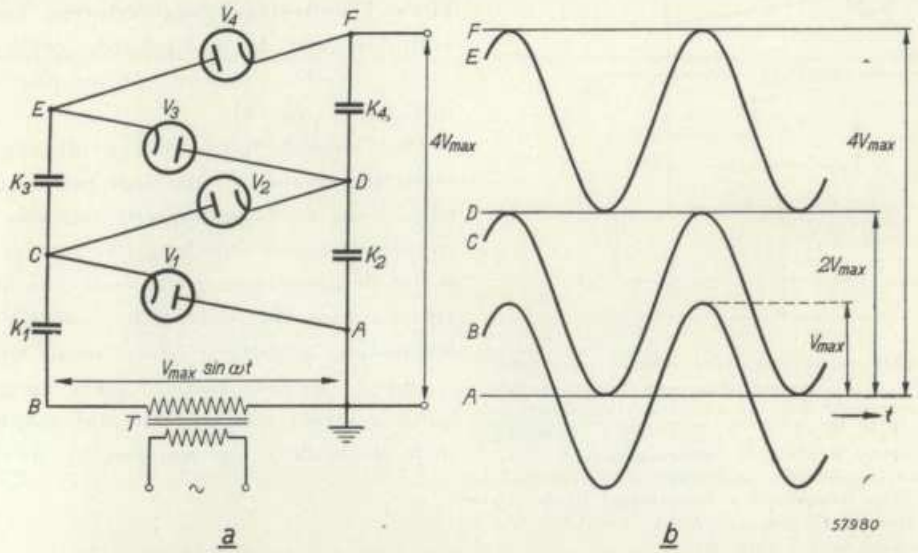


Fig. 1. *a*) Principeschema van een cascadegenerator met vier ventielen ($V_1 \ldots V_4$) en vier condensatoren ($K_1 \ldots K_4$). T = transformator; topwaarde secundaire spanning = V_{max}. Het verloop van de spanning in de punten $B \ldots F$ ten opzichte van het geaarde punt A is, met overeenkomstige letteraanduiding, voorgesteld in (*b*) als functie van de tijd t. Deze figuur geldt voor nullast. Men ziet gemakkelijk in dat de verhouding van de hoogste verkregen gelijkspanning (tussen F en A) tot V_{max} gelijk is aan het aantal ventielen (hier 4).

Van meet af aan heeft men dan ook andere wegen gezocht. Aanvankelijk heeft men iedere gloeidraad gevoed uit een eigen, geïsoleerd opgestelde accumulator, later uit een eigen dynamo, en de dyna-

[1]) Een moderne hoogspanningsinstallatie, Philips techn. T. **1**, 6-10, 1936; A. Kuntke, Een generator voor zeer hoge gelijkspanning, Philips techn. T. **2**, 161-165, 1937. — Soms kan de cascadegenerator ook goede diensten bewijzen voor minder hoge spanningen; zie bijv. G. J. Siezen en F. Kerkhof, Een televisie-ontvanger met geprojecteerd beeld, III. De apparatuur voor het opwekken van 25 kV anodespanning, Philips techn. T. **10**, 157-166, 1948 (No. 6), in welk artikel, voor een bijzonder geval, een nadere analyse van de werking is te vinden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

mo's, door middel van lange isolerende assen, met één motor aangedreven. Deze oplossingen waren echter verre van ideaal.

Voeding met hoogfrequente stroom

Het was dan ook een grote stap in de goede richting, toen Kuntke op het idee kwam, de gloeidraden te voeden met een hoogfrequente stroom, die via de condensatoren van de cascadeschakeling zelf de in serie geschakelde gloeidraden doorloopt (zie het eerste der in noot [1]) aangehaalde artikelen). Het principe van deze methode is weergegeven in *fig. 2*.

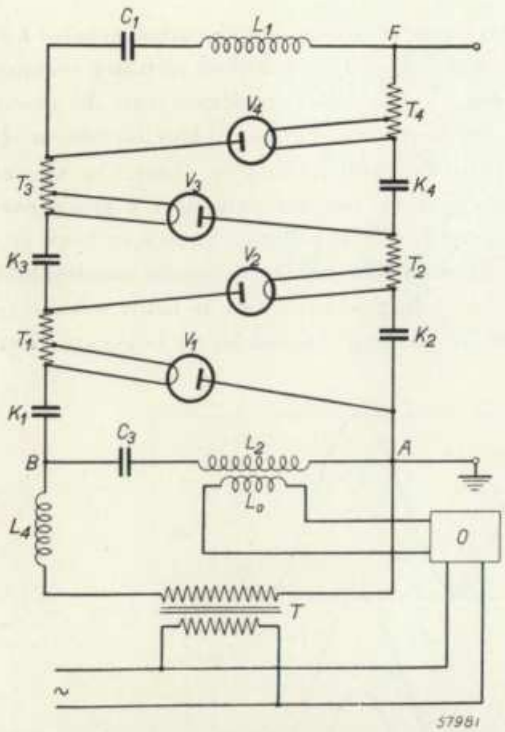


Fig. 2. De gloeidraden van de ventielen worden over autotransformatoren $T_1 \ldots T_4$ gevoed door een hoogfrequente stroom, die wordt opgewekt door de oscillator O en die circuleert in de keten L_2-C_3-K_1-T_1-K_3-T_3-C_1-L_1-T_4-K_4-T_2-K_2-L_2. Voor de hoge frequentie hebben de condensatoren $K_1 \ldots K_4$ een verwaarloosbare impedantie, overbrugt de keten C_1-L_1 het bovenste ventiel en belemmert de smoorspoel L_4 de weg door de transformator T. De condensator C_3 voorkomt dat L_2 en L_4 een kortsluiting over T vormen.

In deze figuur is tevens aangegeven dat men hierbij toch gloeistroomtransformatoren gebruikt, daar de gloeistroom zelf (3,5 A voor een veel gebruikt type van ventielen) te groot is om zonder aanzienlijke verliezen te kunnen circuleren. Bij deze transformatoren is echter de primaire wikkeling met de secundaire verbonden, zodat zich hier de isolatiemoeilijkheid niet voordoet. Aanvankelijk werden transformatoren gebruikt met een windingsverhouding 5 : 1, zodat de primaire stroom 0,7 A bedroeg. Deze stroom werd opgewekt door een buisoscillator, die werkte met een frequentie tussen 500 en 750 kper/sec.

De aandacht zij nog gevestigd op de condensator C_3 (fig. 2), die belet dat de spoel L_2 van de hoogfrequenttransformator een kortsluiting vormt voor de secundaire stroom (met de netfrequentie) van de hoofdtransformator T, en op de smoorspoel L_4 die het afvloeien van hoogfrequente stroom over T tegengaat. Bovendien is er nog een keten C_1-L_1, die ongeveer is afgestemd op de oscillatorfrequentie en aldus voor de hoogfrequente stroom een overbrugging vormt van het bovenste ventiel, terwijl zij gelijkstroom blokkeert.

Bezwaren van de oude schakeling

Er zijn echter oorzaken waardoor deze in principe zo elegante oplossing van het voedingsprobleem der gloeidraden in de practijk niet zo eenvoudig is als zij schijnt.

De „knooppunten" B, C, D ... (fig. 1) van een cascadegenerator hebben hoge spanning ten opzichte van aarde. Om sproeien te voorkomen, is het nodig ze elk te omgeven met een afgerond metalen omhulsel, dat met het knooppunt is verbonden (*fig. 3*) en dat, van buiten gezien, nergens een te kleine kromtestraal mag vertonen. Vooral het grote omhulsel van de niet-geaarde gelijkspanningspool — de „hoed" — vormt een opvallend deel van de installatie (*fig. 4*).

Deze omhulsels nu hebben elk een zekere capaciteit ten opzichte van aarde (soms enige tientallen pF). Voor de hoogfrequente stroom vormen deze capaciteiten niet onbelangrijke zijwegen. Het gevolg is dat de gloeistromen der ventielen niet even groot zijn en men dus niet ieder ventiel de voor zijn levensduur gunstigste gloeistroom kan geven.

Om de gloeistromen zo goed mogelijk gelijk te houden, heeft men een tweetal maatregelen genomen die beide er op zijn gericht, de hoogfrequente

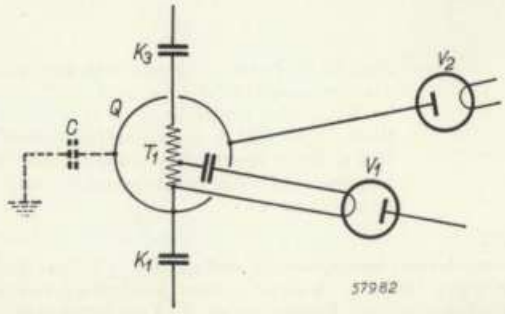


Fig. 3. Om sproeien te voorkomen, omgeeft men de onder hoge spanning staande knooppunten van de cascadegenerator (B en de transformatoren T_1, T_2 ... in fig. 2) met een afgerond metalen omhulsel Q, zoals hier weergegeven voor T_1. De omhulsels hebben ten opzichte van aarde een capaciteit C, waarover hoogfrequente stroom afvloeit.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

spanning van de omhulsels te verlagen, waardoor de afleidingsstromen kleiner worden.

De eerste maatregel bestaat hierin dat men iedere gloeidraadketen, met behulp van een serieconden-sator, afstemt op de oscillatorfrequentie. Deze keten heeft namelijk een niet onbelangrijke zelfinductie — grotendeels bestaande uit de spreidingszelfinductie van de gloeistroomtransformator —, waarin een vrij groot spanningsverlies optreedt. Door de keten af te stemmen, compenseert men dit spanningsverlies, als gevolg waarvan de primaire spanningen, dus ook de spanningen op de omhulsels, aanmerkelijk worden verlaagd.

Als tweede maatregel heeft men een soort brugschakeling toegepast, waarvan het principe is weergegeven in *fig. 5*. Daarmee kan men de hoogfrequente spanning van de hoed ten opzichte van aarde tot nul reduceren. Weliswaar nemen nu de lager geplaatste knooppuntomhulsels een grotere hoogfrequente spanning aan dan in de asymmetrische schakeling volgens fig. 2, maar het feit dat over de omvangrijke hoed geen afleidingsstroom meer loopt, overweegt.

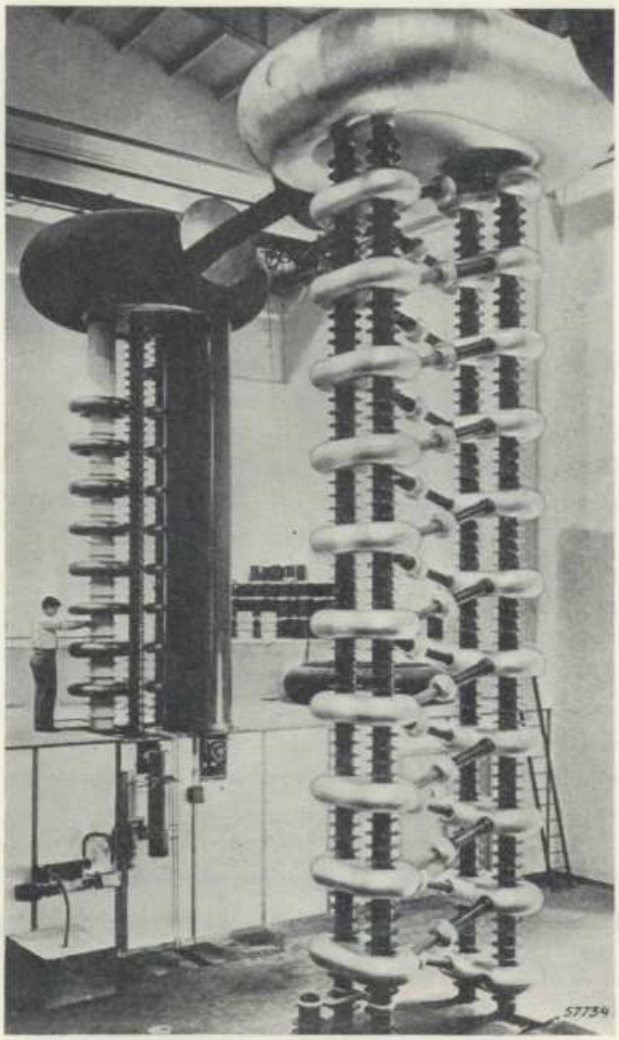


Fig. 4. Cascadegenerator (rechts) voor 2000 kV in het Cavendish Laboratorium te Cambridge (Engeland). Het aantal ventielen is hier 20. De geometrische bouw is analoog met het principeschema (fig. 2). De installatie is verbonden met een buis (links) waarin kernreacties tot stand worden gebracht. — Men ziet de afgeronde omhulsels der knooppunten en de grote „hoed", die de niet-geaarde gelijkspanningspool vormt. De capaciteit van deze onderdelen veroorzaakt een ongelijkmatige verdeling van de hoogfrequente gloeistroom der ventielen.

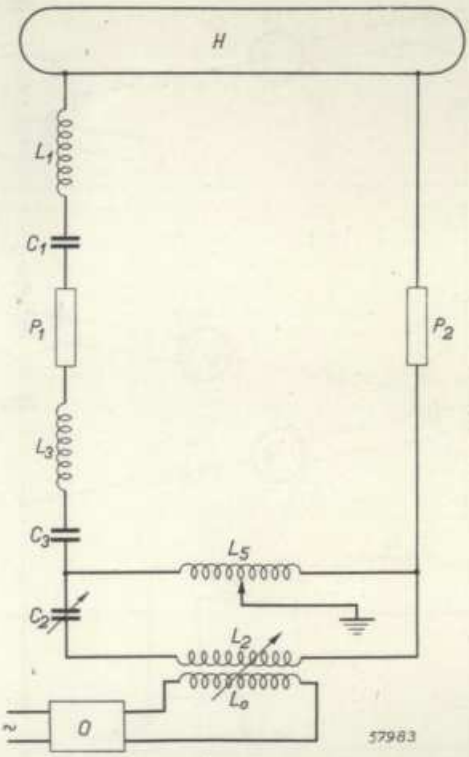


Fig. 5. Schakeling waarmee, bij juiste instelling van de aftakking op de spoel L_5, de hoogfrequente spanning van de hoed H tot nul kan worden teruggebracht. Onderdelen die uitsluitend stroom van lage frequentie voeren, zijn weggelaten. Met P_1, P_2 zijn de beide zuilen aangeduid. De condensator C_3 is nodig om de onderkant van P_1 voor gelijkspanning te isoleren van aarde; de spoel L_3 compenseert de hoogfrequentimpedantie van C_3. Met de variabele condensator C_2 wordt de keten afgestemd. Overige letters als in fig. 2.

De aandacht zij nog gevestigd op de in deze schakeling nodige keten L_3-C_3, die voor de hoogfrequente stroom, op welks frequentie ze is afgestemd, een gemakkelijke weg vormt, waarin de condensator C_3 gelijkstroom blokkeert. C_2 is een variabele luchtcondensator, die moet worden bijgeregeld bij verandering van de koppeling tussen L_2 en L_0.

Men zal inmiddels hebben begrepen dat deze maatregelen de installatie niet bepaald eenvoudig maken. *Fig. 6*, de schakeling van inderdaad uitgevoerde cascadegeneratoren, demonstreert dit ten duidelijkste. In deze schakeling met twaalf ventielen (waarmee een gelijkspanning van ruim 1000 kV is te bereiken) telt men niet minder dan 15 af te stemmen kringen: de 12 gloeidraadketens, plus de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

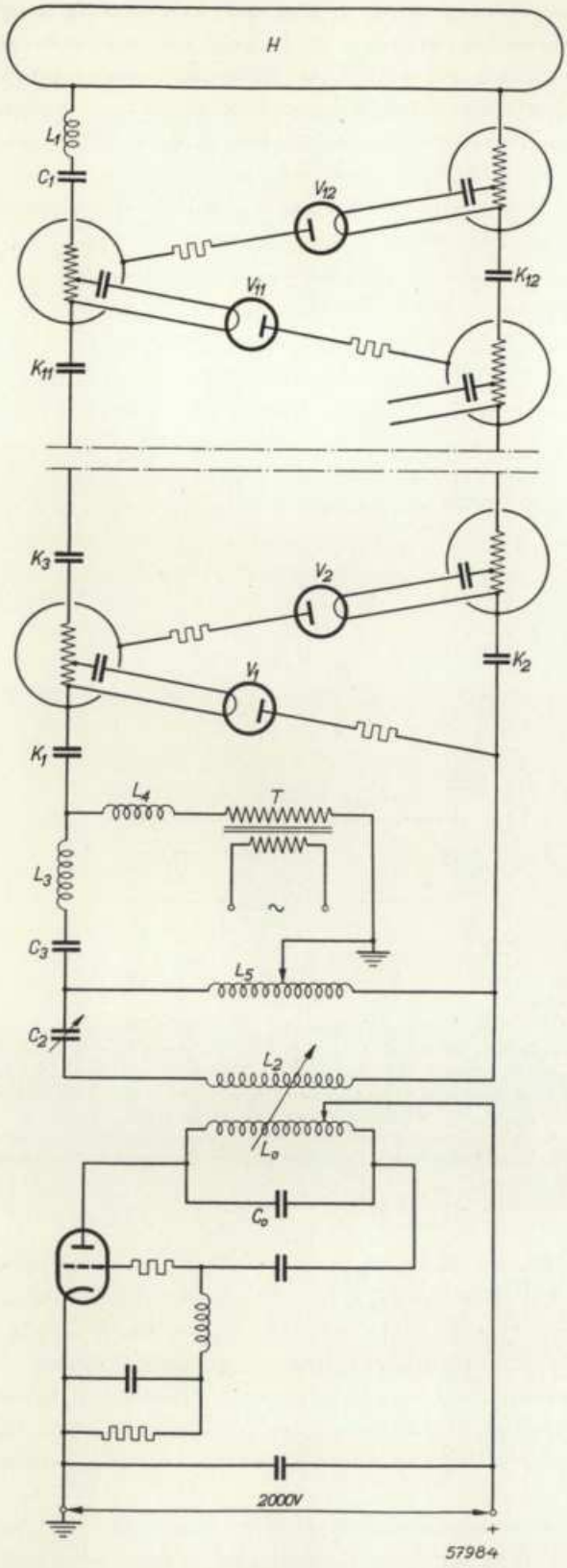


Fig. 6. Verouderde schakeling van een cascadegenerator met hoogfrequentvoeding van de gloeidraden (12 ventielen). Om inductief spanningsverlies te compenseren is iedere gloeidraadketen afgestemd met een seriecondensator. De schakeling is symmetrisch (spoel L_5, vgl. fig. 5). L_0-C_0 = trillingskring van de oscillator. Overige letters als in fig. 5. In serie met ieder ventiel is een weerstand opgenomen om inschakelstroomstoten te begrenzen.

kringen L_1-C_1, L_2-C_2 en L_3-C_3. Daarbij komen nog de regelbare koppeling L_0-L_2 en de verplaatsbare aftakking op L_5. Het behoeft geen betoog dat het instellen van al deze elementen, zodanig dat de twaalf gloeistromen binnen bepaalde grenzen blijven, niet gemakkelijk is. Weliswaar behoeft het instellen — in theorie — slechts eens voor al te gebeuren, doch er is maar weinig voor nodig om de goede werking te verstoren.

Daarbij komt nog dat de verliezen in de beide zuilen (in hoofdzaak in de hoogspanningscondensatoren C_1 en C_3), bij een hoogfrequente stroom van 0,7 A, van dezelfde orde kunnen zijn als het vermogen dat de gloeidraden verbruiken. Het rendement is dus niet gunstig.

Nieuwe schakeling

Een nieuwe schakeling is ontworpen die veel eenvoudiger is dan de oude, en wel in hoofdzaak doordat is afgestapt van het afstemmen van iedere gloeidraadketen.

Bovendien zijn de verliezen verminderd, o.a. doordat is overgegaan tot een kleinere primaire stroom (0,25 A in plaats van 0,7 A).

Beide stappen voeren in eerste instantie tot een hogere primaire spanning per gloeistroomtransformator. Naar wij zagen, is dit ongewenst met het oog op de capacitieve afleidingsstromen, die bovendien bij 0,25 A meer gewicht in de schaal leggen dan bij 0,7 A. Door twee maatregelen is dit bezwaar voldoende tegengegaan.

In de eerste plaats is een lagere frequentie gekozen, waardoor het inductieve spanningsverlies in de secundaire keten van iedere gloeistroomtransformator kleiner wordt. Rekening houdend met de wens, bestaande installaties met zo weinig mogelijk verandering te kunnen inrichten volgens de nieuwe schakeling, vonden wij als gunstigste frequentie omstreeks 250 kper/sec. (Voorheen werd, zoals gezegd, doorgaans gewerkt met 500 tot 750 kper/sec.)

De tweede maatregel bestaat in een drastische vermindering van de magnetische spreiding der gloeistroomtransformatoren, welke aansprakelijk is voor een groot gedeelte van de zelfinductie in de secundaire keten. De verkleining van de spreiding is verkregen door de transformator, die oorspronkelijk een kern bezat van met „Philite" vermengd ijzerpoeder, een kern van „Ferroxcube" [2]) te geven. Dit materiaal heeft zeer geringe magnetische verliezen (ook bij hoge frequenties) en een hoge permeabiliteit (in de orde van 1000). De delen waaruit de

[2]) J. L. Snoek, Niet-metallisch magnetisch materiaal voor hoge frequenties, Philips techn. T. 8, 353-360, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

kern wordt opgebouwd — i.c. twee E-vormige stukken, zie *fig. 7* — kunnen gemakkelijk zo vlak worden geslepen dat in de krachtlijnenweg geen noemenswaardige luchtspleet overblijft. Aan deze twee eigenschappen van het materiaal is de geringe

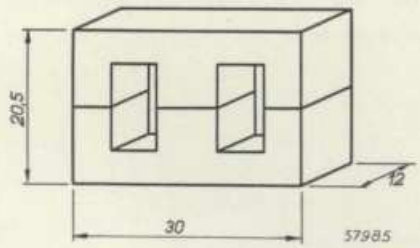


Fig. 7. De nieuwe gloeistroomtransformatoren hebben een kern die bestaat uit twee massieve E-vormige stukken „Ferroxcube", hierboven afgebeeld op ware grootte. Maten in mm.

spreiding van de transformator te danken. Het afstemmen van de gloeidraadketens is daardoor overbodig geworden.

(fig. 6) veel kleiner dan het vermogen dat de twaalf gloeidraden tezamen verbruiken.

De volledige schakeling is weergegeven in *fig. 9*. Men ziet dat ook de oscillatorschakeling is vereenvoudigd (vgl. fig. 6) en dat hier geen brugschakeling meer is gebruikt, waarmee de hoogfrequente spanning van de hoed nul wordt gemaakt. Het is namelijk gebleken dat men, dank zij de ingevoerde vereenvoudigingen, ook met een asymmetrische schakeling de ongelijkmatigheden in de stroomverdeling gemakkelijk zo gering kan maken dat een kleine correctie bij iedere gloeistroomtransformator voldoende is om de stromen binnen de gestelde grenzen te brengen. Dit geldt zelfs voor het grote aantal van 20 ventielen, zoals de in fig. 4 afgebeelde installatie bezit. Desgewenst kan men echter ook de schakeling symmetrisch maken (*fig. 10*). Dan kunnen onder gunstige omstandigheden de individuele correcties zelfs achterwege blijven.

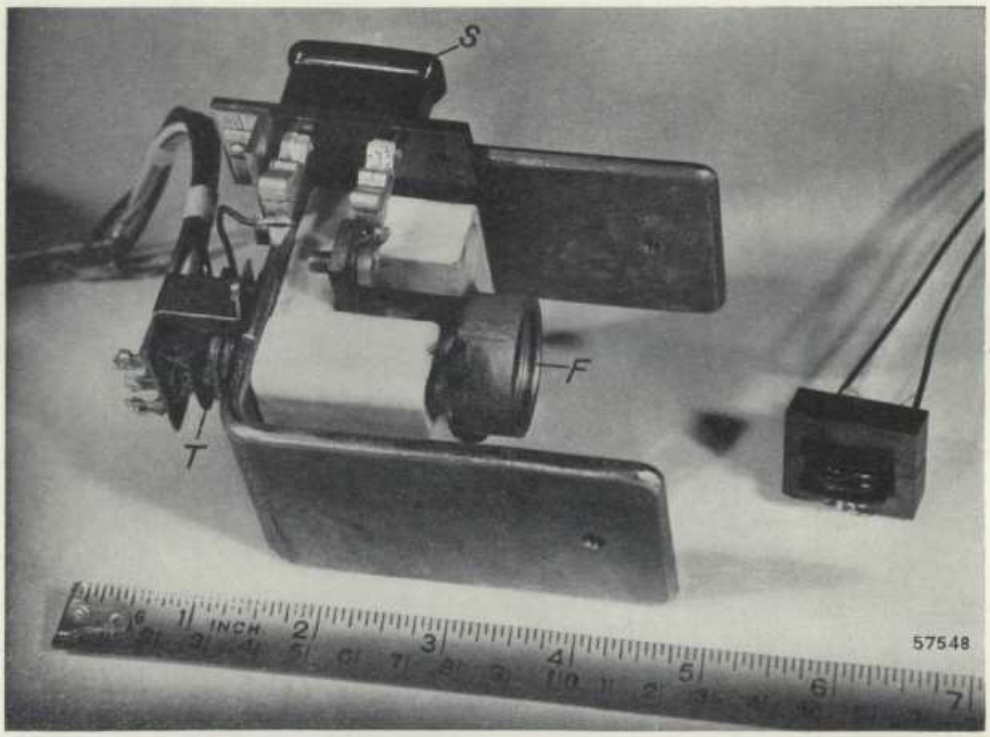


Fig. 8. *Rechts:* losse, complete transformator voor secundair 2,3 V × 3,5 A = 8 W, frequentie 250 kper/sec. *Links:* beugel waarop zijn gemonteerd de gloeistroomtransformator (*T*), de buishouder (*F*) voor het ventiel en een stopcontact met kortsluitsteker (*S*), die tijdens het instellen kan worden vervangen door een ampèremeter.

In *fig. 8* zijn twee complete transformatoren te zien, de ene los, de andere gemonteerd op de beugel die tevens de buishouder draagt.

De windingsverhouding bedraagt 14 : 1, overeenkomende met een primaire stroom van 0,25 A. Daarbij is het verlies in de condensatoren C_1 en C_3

Regeling

In fig. 9 is te zien dat de afstemcondensator en de roosterweerstand van de oscillator regelbaar zijn. Hiermee kan men de gunstigste frequentie instellen, resp. het afgegeven vermogen ca 10 % variëren.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

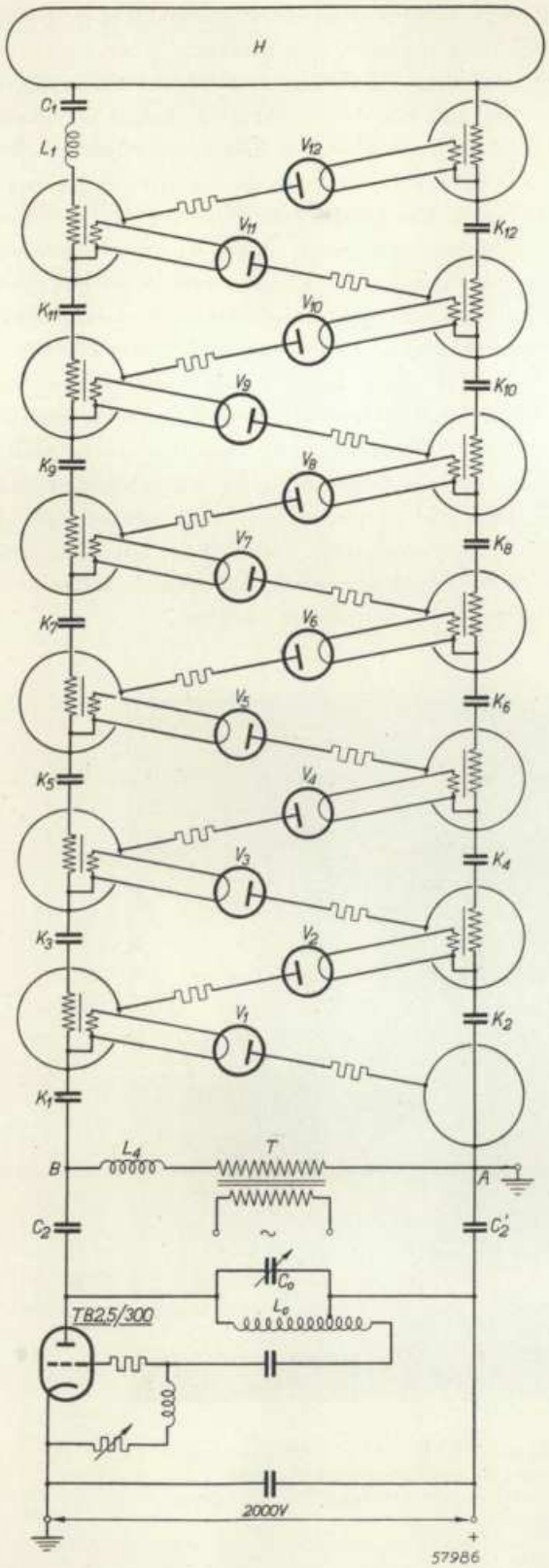


Fig. 9. De nieuwe schakeling voor hoogfrequentvoeding van de gloeidraden van een cascadegenerator. De gloeidraadketens zijn niet afzonderlijk afgestemd. Over twee scheidingscondensatoren, C_2 en C_2', is de oscillatorkring L_0-C_0 gekoppeld met de cascadegenerator. De oscillatorbuis is van het type TB 2,5/300. Met de variabele roosterlekweerstand kan men het afgegeven vermogen ongeveer 10% veranderen.

Vóór het in gebruik nemen van de installatie dient eens voor al te worden gecontroleerd of de gloeistromen binnen de gestelde toleranties liggen. Daartoe is bij ieder ventiel een stopcontact aangebracht, dat normaal is kortgesloten (fig. 8), maar waarop voor het controleren een ampèremeter kan worden aangesloten.

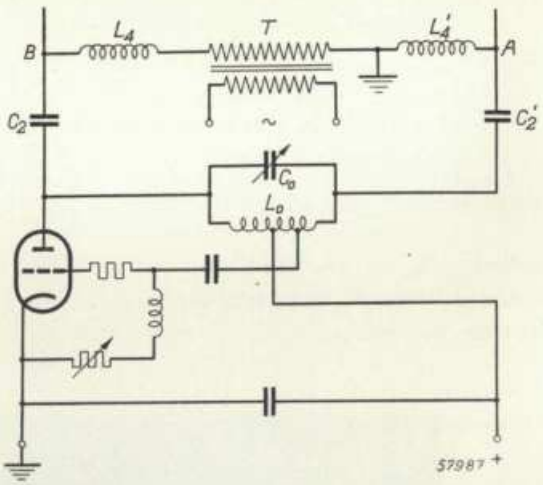


Fig. 10. Oscillatorschakeling voor symmetrische voeding. De letters corresponderen met die van fig. 9. Tussen A en aarde bevindt zich een tweede hoogfrequentsmoorspoel (L_4').

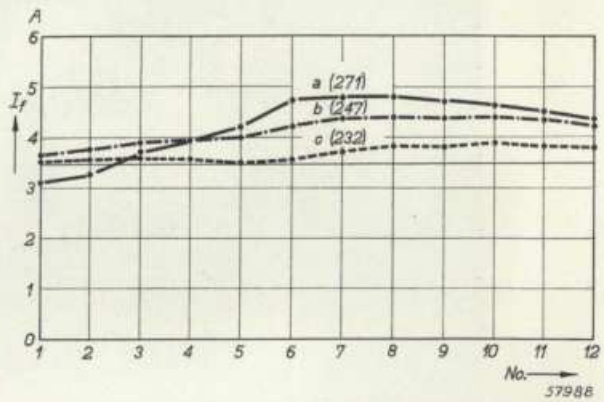


Fig. 11. Metingen aan een cascadegenerator met 12 ventielen. Voor drie waarden van de frequentie (271, 247 en 232 kper/sec) is verticaal de gloeistroom I_f van elk der 12 ventielen uitgezet. De bij eenzelfde frequentie behorende meetpunten zijn verbonden door rechte lijnen. Hier blijkt 232 kper/sec ongeveer de gunstigste frequentie te zijn. De kleine afwijkingen van het gemiddelde niveau kunnen worden bijgeregeld met behulp van aftakkingen op de gloeistroomtransformatoren. Het gemiddelde niveau zelf kan op de juiste hoogte (3,5 A) worden gebracht door middel van de regelbare roosterweerstand in de oscillator.

In de practijk is gebleken dat bij de nieuwe installatie alle ventielen ongeveer de juiste gloeistroom ontvangen, indien men zo heeft ingesteld dat de gloeistroom der beide onderste ventielen (voor de hoogfrequente stroom zijn dit het eerste en het laatste ventiel) de juiste waarde heeft, zie *fig. 11*. Zo nodig kan men de overblijvende kleine

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

afwijkingen corrigeren, bijv. door gebruik te maken van aftakkingen op de primaire wikkeling van de gloeistroomtransformatoren. Het gemiddelde niveau van de gloeistromen — dat in fig. 11, kromme *c*, nog iets te hoog is — kan men de gewenste hoogte geven met behulp van de zoëven genoemde roosterweerstand.

Een ander groot practisch voordeel van de nieuwe schakeling is, dat, dank zij de eenvoud er van, een eenmaal gemaakte instelling niet licht ontregeld raakt.

Samenvatting. Bij het gebruik van hoogfrequente stroom voor het verwarmen van de gloeidraden der ventielen in een cascadegenerator stuit men op de moeilijkheid, de gloeistromen onderling gelijk te maken. Oorzaak van de ongelijkheid is de capaciteit van de metalen omhulsels, die, om sproeien te voorkomen, zijn aangebracht om de knooppunten van de cascadegenerator. De weg waarlangs aanvankelijk de oplossing van dit vraagstuk werd gezocht, heeft gevoerd tot een ingewikkelde schakeling, waarin o.a. iedere gloeidraadketen moet worden afgestemd. In de besproken nieuwe schakeling heeft men al deze afstemmingen kunnen laten vervallen, dank zij de geringe magnetische spreiding van de gloeistroomtransformatoren, die nu zijn voorzien van een kern van „Ferroxcube". Door deze en andere vereenvoudigingen is een schakeling ontstaan die, in tegenstelling tot de oude, gemakkelijk zo is in te stellen dat de gloeistromen alle binnen de toleranties vallen en die niet licht ontregeld raakt.

STEREOFONISCHE MUZIEK IN DE BIOSCOOP

534.76:791.45

In de week van 29 October tot 4 November 1948 is in een Eindhovense bioscoop — het Chicago-Theater, dat onder directie staat van de Heer D. Monnickendam — een proef genomen met stereofonische muziekweergave. In tegenstelling met vroegere demonstraties, die op verscheidene plaatsen voor genodigden of in besloten kring werden gegeven, maakte de stereofonische weergave hier deel uit van normale, openbare, programma-uitvoeringen.

Bij deze proef werd de stereofonische weergave toegepast voor de muziek waarmee de pauze tussen voorfilm en hoofdfilm wordt gevuld. Een toepassing voor het geluid van de film zèlf zal zich voorlopig nog wel laten wachten. De filmproducenten zouden hiertoe de stap moeten doen de begeleidende spraak en overige geluiden stereofonisch op te nemen, en hoewel dit technisch reeds mogelijk is [1]), ziet het er naar uit dat de nodige wijzigingen in de apparaturen en de daarmee gepaard gaande kosten voorlopig te bezwaarlijk zullen worden geacht. Trouwens, de te verwachten verbetering is voor dat geval wellicht minder in het oog (of het oor) lopend, aangezien een verkeerde gewaarwording van de richting van het geluid min of meer wordt overheerst en gecorrigeerd door de sterke visuele indruk van het beeld. Bij de pauzemuziek daarentegen moet het geluid op zichzelf worden geapprecieerd. Dit geldt vooral wanneer zij mechanisch wordt gegeven, zodat de

[1]) Een mogelijkheid is beschreven door K. de Boer, Stereofonische registratie op Philips-Miller-film, Philips techn. T. **6**, 88-93, 1941; vgl. bovendien R. H. J. Alink, C. J. Dippel en K. J. Keuning, Het metaal-diazoniumsysteem voor fotografische reproductie, Philips techn. T. **9**, 289-300, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

aandacht niet kan worden afgeleid door het gadeslaan van de uitvoerende musici. Het leek in deze situatie een veelbelovend experiment, door verbetering van de weergave, met name door toepassing van de stereofonie, het karakter der „mechanische" muziek zoveel mogelijk weg te nemen en de bezoekers aldus een genot te verschaffen dat in veel hogere mate gelijkt op dat van een werkelijk concert [2]).

Over de technische uitvoering van de proefneming behoeft hier niet veel te worden gezegd. Op de foto ziet men de plaatsing van de beide luidsprekers aan weerszijden van het projectiedoek. De weergegeven muziek behoorde tot een serie stereofonische opnamen die door de afdeling Electro-acoustiek van de N.V. Philips volgens de magnetische registreermethode waren gemaakt.

Aan de proefneming werd een enquête verbonden onder alle bezoekers van de bioscoop. Hun werd verzocht, op een aan ieder uitgereikt formulier twee vragen te beantwoorden:

1) Stelt U er prijs op, dat stereofonische muziekprogramma's regelmatig in de bioscopen ten gehore worden gebracht? Antwoordmogelijkheden: a) ja, b) geen interesse; c) neen.
2) Vindt U de gedemonstreerde weergavekwaliteit belangrijk beter dan het normale geluid, dat U gewend bent te horen in de bioscopen? Antwoordmogelijkheden: a) ja, groot verschil; b) ja, weinig verschil; c) neen.

Tevens boden de formulieren gelegenheid voor eventuele verdere opmerkingen.

Van de ruim 7300 formulieren die werden uitgereikt, werden er meer dan 5800 volledig en 500 gedeeltelijk ingevuld terugontvangen. De bezoekers waren voor ca 75% waarderend, voor minder dan 3% bepaald afwijzend. Het onderstaande tabelletje geeft de verdeling der opinies weer (waarbij we het niet beantwoorden van een vraag gerekend hebben als het „onverschillige" antwoord (b)).

Vraag	Aantal antwoorden		
	a	b	c
1	5764 (79%)	1350	199
2	5548 (76%)	1650	115

In ca 800 gevallen werd nader commentaar gegeven, waarbij 300 bezoekers zich gedrongen voelden speciale uiting te geven aan hun enthousiasme, terwijl 200 klaagden over een te scherp karakter van het geluid. In dit laatste verband valt nog op te merken dat frequenties tot 10 000 per/sec met minder dan 2 db verzwakking werden weergegeven. Aan een onverzwakte weergave van zulke hoge tonen is het publiek bij mechanische muziek niet gewend en het is daardoor wellicht geneigd ze onnatuurlijk te vinden — tenzij het zou gelukken elke associatie met „mechanische muziek" te vermijden. Andere commentaren die werden gegeven, betroffen het geluidsvolume, de waarneming van het stereofonisch effect op ongunstige zitplaatsen, de programmakeuze enz.

Hoewel de ervaring leert, dat statistische peiling van het publiek niet altijd tot betrouwbare resultaten leidt, en wij daarom in dit geval ook willen afzien van eigen commentaar op de uitslag der enquête, leek het ons toch gewenst aan de proef en haar resultaat door deze mededeling een grotere bekendheid te geven. Navolging op grotere schaal zal de proef natuurlijk eerst kunnen vinden zodra een voldoende gevarieerd repertoire van stereofonische opnamen voor dit doel ter beschikking zal staan.

J. P. de VISSER van BLOEMEN.

[2]) Vgl. het artikel: R. Vermeulen, Multiplicatie van concerten, Philips techn. T. **10**, 167-175, 1948 (No. 6).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voorzover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Laboratorium voor Wetenschappelijk Onderzoek, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

1808*: H. J. Vink: Het geleidingsmechanisme in de oxydekathode (dissertatie Leiden 1948, 170 blz., 63 fig., 5 tabellen).

De weerstand van een normale laag van bariumstrontiumoxyde wordt bij verschillende formeringsgraad als functie van de temperatuur bestudeerd. De $\log R$-T^{-1} karakteristiek blijkt in verschillende delen uiteen te vallen; met elk van die delen komen zekere gegevens uit de oudere literatuur overeen. De gevonden verschijnselen kunnen niet zonder meer verklaard worden uit de moderne theorieën over electronen- en ionengeleiding in vaste stoffen. Wel is dit het geval indien men bovendien aanneemt, dat tussen de kristallen van de poreuze oxydelaag een electronengas aanwezig is, dat mede de geleiding van de laag bewerkstelligt. Met behulp van plausibele onderstellingen over de electronenemissie van de afzonderlijke kristallen kan theoretisch een weerstand worden afgeleid van dezelfde orde als werd waargenomen. Ook kunnen bepaalde eigenaardigheden van de karakteristieken met behulp van deze onderstelling verklaard worden.

1809: P. W. Haayman en G. W. van Oosterhout: Eigenschappen en toepassing van halfgeleiders als weerstandsmateriaal met grote negatieve temperatuurcoëfficient (Electrotechniek **26**, 342-347, 1948, No. 21).

In dit artikel wordt een overzicht gegeven van eigenschappen van halfgeleiders en van hun meest voor de hand liggende toepassingen als schakelelement, zoals beveiliging tegen grote stromen, compensatie van een positieve temperatuurcoëfficient, weerstandthermometer, bolometer, wattmeter, kunstmatige horizon, spanningsstabilisator en regelbare weerstand zonder bewegend contact.

1810*: J. L. Meyering: Hardening of metals by internal oxidation (Physical Society, Bristol Conference Report, 140-151, 1948).

Sommige legeringen van zilver, koper en nikkel met enkele percenten van een gemakkelijk oxydeerbaar metaal (Mg, Al), kunnen worden gehard door er zuurstof in te laten diffunderen. Een thermodynamische theorie van dit proces wordt in een voorlopig schema uitgewerkt. Uit het röntgenonderzoek en uit metingen van de electrische weerstand blijkt, dat de deeltjes van MgO en Al_2O_3 die op deze wijze in zilver ontstaan, zeer klein zijn. De mechanische eigenschappen zijn vrij ongevoelig voor langdurige verhitting op hoge temperatuur, vooral wanneer de opgeloste zuurstof na de oxydatie niet wordt verwijderd. Rekristallisatie wordt sterk vertraagd. Een nadeel is de brosheid aan de kristalgrenzen. Men kan deze brosheid beperken door minder sterk te harden. Eenkristallen zijn volkomen ductiel. In sommige alliages vormen zich oxyde-huidjes, die het verder indringen van zuurstof belemmeren. (Zie ook Philips Res. Rep. **2**, 81-102 en 260-280, 1947.)

1811: R. Vermeulen: Melodic scales (J. Acoust. Soc. Amer. **20**, 545-549, 1948, No. 4).

In dit artikel wordt gepoogd de in de muziek gebruikelijke toonladders uit een melodisch (dus niet uit een harmonisch) principe af te leiden. De grondonderstelling is, dat de schaal hoogstens twee verschillende intervallen mag bevatten en ten minste één ongeveer zuivere quint bevat. Voor de gebruikelijke dur-toonladder komt hierbij de stemming volgens Pythagoras voor de dag. Daarnaast worden enkele andere mogelijkheden gevonden, die ten dele met andere bestaande toonladders kunnen worden vereenzelvigd.

1812: J. M. Stevels: Some chemical aspects of opacification of vitreous enamels (J. Sheet Metal Industries **25**, 2234-2237, 2240, 1948).

Een email bestaat in hoofdzaak uit een glasachtige phase, waarin een andere phase fijn verdeeld is. Daardoor bezit email lichtverstrooiende eigenschappen. Deze fijn verdeelde phase kan worden verkregen: 1) door gedeeltelijke kristallisatie (ontglazing; practisch niet toegepast), 2) door vermenging van de smelt met een fijn verdeelde vreemde stof in kristallijne toestand, die niet in het grondmateriaal oplost, 3) door ontmenging in twee glasachtige phasen. Uitvoerig wordt ingegaan op de invloed, die de grootte en de vorm van de deeltjes van de disperse phase hebben op het lichtverstrooiend vermogen, terwijl ook wordt nagegaan, welke invloeden de chemische samenstelling van het grondmateriaal en van de disperse phase heeft.

1813: H. B. G. Casimir: On the attraction between two perfectly conducting plates (Proc.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Kon. Ned. Akad. Wetensch. Amsterdam **51**, 793-795, 1948, No. 7).

Het blijkt, dat tussen twee metalen platen een aantrekkende kracht bestaat, die onafhankelijk is van het materiaal der platen, zolang de afstand zodanig is, dat voor golflengten, vergelijkbaar met die afstand, de indringdiepte klein is ten opzichte van de afstand. Deze kracht kan worden opgevat als een (negatieve) druk ten gevolge van de nulpuntsenergie der electromagnetische golven. Gelijksoortige effecten komen ter sprake bij de berekening van de invloed van de retardatie op de Van der Waals-London attractie (vergelijk deze overzichten, No. **1793**).

1814: C. J. Bouwkamp: A note on Mathieu functions (Proc. Kon. Ned. Akad. Wetensch. Amsterdam **51**, 891-893, 1948, No. 7).

Een nieuw bewijs van de stelling, dat de Mathieu-vergelijking $y''+(a-2q\cos 2z)\,y=0$ geen twee lineair-onafhankelijke oplossingen met de periode 2π in z kan hebben, tenzij $q=0$ en $a=n^2$ (n geheel). Numerieke discussie voor zuiver imaginaire waarden van q, in verband met een bewering van Mac Lachlan, welke wordt weerlegd.

1815: K. F. Niessen: Nodal planes in a perturbed cavity resonator, I (Appl. sci. Res. 's-Grav. **B1**, 187-194, 1948, No. 3).

In dit artikel wordt een trilholte beschouwd die verkregen is uit een prismatische trilholte met vierkante doorsnede door één van de zijwanden over een kleine hoek δ om een prismaribbe te laten draaien. Het electrische veld wordt evenwijdig aan die ribbe ondersteld. In dit eerste deel wordt de grondfrequentie beschouwd. De door de deformatie teweeggebrachte frequentiewijziging en storing van het veld worden berekend.

1816: W. G. Perdok and H. van Suchtelen: A sensitive apparatus for qualitative testing of crystals on piezo-electricity (Appl. sci. Res. 's-Grav. **B1**, 195-204, 1948, No. 3).

Beschrijving van een op een door Giebe en Scheibe aangegeven beginsel berustende meetapparatuur, waarmede kristallen op piëzo-electriciteit kunnen worden beproefd. De opstelling kan gemakkelijk worden uitgevoerd en werkt constant en betrouwbaar.

R 89: B. D. H. Tellegen: The synthesis of passive, resistanceless four-poles that may violate the reciprocity relation (Philips Res. Rep. **3**, 321-337, 1948, No. 5).

Dit artikel bevat een onderzoek naar de meest algemene passieve weerstandsloze vierpolen die niet behoeven te voldoen aan de reciprociteitsbetrekking. Deze vierpolen kunnen worden opgebouwd met behulp van zelfinducties, capaciteiten, ideale transformatoren en ideale „gyratoren" (zie **R 73**). Voor elke orde vindt men twee typen vierpolen, die in elkaar kunnen worden getransformeerd door een ideale gyrator voor een van hun klemmenparen te schakelen.

R 90: W. Elenbaas: Dissipation of heat by free convection (Philips Res. Rep. **3**, 338-360, 1948, No. 5).

De inhoud van dit en een volgend artikel komt overeen met die van een artikel in „De Ingenieur" (deze overzichten No. **1773**).

R 91: A. van Weel: A new principle for transceivers (Philips Res. Rep. **3**, 361-370, 1948, No. 5).

Aangetoond wordt dat de in een vorig artikel beschreven zelfoscillerende mengtrappen (zie **R 80**) voordelen bieden voor zend-ontvang-schakelingen voor zeer korte golven. Hierbij kan nl. de omschakeling van zenden op ontvangen geheel electrisch gebeuren zonder mechanische schakeling in de antennekring. Men kan deze omschakeling met ultrasonore frequentie bewerkstelligen en zo een kruisgesprek mogelijk maken. Er wordt een systeem beschreven om de frequentie zowel van de zendoscillator als van de ontvangoscillator met behulp van één enkele trilholte te stabiliseren.

R 92: J. H. van Santen and G. H. Jonker: The temperature dependency of the index of refraction of heteropolar solids (Philips Res. Rep. **3**, 371-377, 1948, No. 5).

In dit artikel wordt nader bekeken hoe de electronenpolariseerbaarheid van heteropolaire kristalroosters afhangt van de temperatuur. Ondersteld wordt dat de electronenpolariseerbaarheid in hoofdzaak bepaald wordt door een electronensprong waarbij een electron overgaat van een negatief ion naar een naburig positief ion.

R 93: J. F. Klinkhamer: Empirical determination of wave-filter transfer functions with specified properties, II (Philips Res. Rep. **3**, 378-400, 1948, No. 5).

Vervolg en slot van het onder **R 72** besproken artikel (voor de inhoud zie het bedoelde overzicht, waarin ook dit tweede deel kort besproken wordt.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!